



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Análisis y evaluación comparativa de modelos
hidrológicos agrupados y semidistribuidos aplicados al
pronóstico de caudales diarios del río Chillón**

TESIS

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos
Modalidad (M-1)**

AUTOR

Miguel Angel ASTORAYME VALENZUELA

ASESOR

Douglas Donal SARANGO JULCA

Oscar Gustavo FELIPE OBANDO

Lima, Perú

2017



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Astorayme, M. (2017). *Análisis y evaluación comparativa de modelos hidrológicos agrupados y semidistribuidos aplicados al pronóstico de caudales diarios del río Chillón*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS MODALIDAD (M-1)

Siendo las 20:00 horas del día martes 28 de noviembre de 2017, en el Aula 205 de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Dr. ARÍSTIDES SERRUTO COLQUE y con la asistencia del asesor MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA, asesor externo Ing. OSCAR GUSTAVO FELIPE OBANDO y miembros Dr. Ing. EUSEBIO VEGA BUEZA e Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de Titulación Profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, del Bachiller:

MIGUEL ANGEL ASTORAYME VALENZUELA

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invita al Bachiller MIGUEL ANGEL ASTORAYME VALENZUELA a realizar la Exposición del Trabajo de Tesis titulada: "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MODELOS HIDROLÓGICOS AGRUPADOS Y SEMIDISTRIBUIDOS APLICADOS AL PRONÓSTICO DE CAUDALES DIARIOS DEL RÍO CHILLÓN".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente del mismo, invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por el Bachiller, la misma que es:

DIECISEIS 16.....

El Presidente del Jurado Dr. ARÍSTIDES SERRUTO COLQUE, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller MIGUEL ANGEL ASTORAYME VALENZUELA, Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 21:45 horas del mismo día, se levanta la sesión.

Dr. ARÍSTIDES SERRUTO COLQUE
PRESIDENTE

MSc. Ing. DOUGLAS SARANGO JULCA
ASESOR

Ing. OSCAR GUSTAVO FELIPE OBANDO
CO ASESOR EXTERNO

Dr. Ing. EUSEBIO VEGA BUEZA
MIEMBRO

Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
MIEMBRO

Autor, asesores y colaboradores

M.A. Astorayme^{1a, b}, D. Sarango^a, O. Felipe^b, J. García^c, W. Suarez^b, C. Huggel^d y W. Molina^e

^a Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Universitaria s/n. - Av. Venezuela cdra. 34, Lima - Perú.

^b Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Jr. Cahuide 785 Jesús María, Lima - Perú.

^c Centre de recherche sur l'environnement alpin - CREALP, Rue de l'Industrie 45, 1950 Sion - Suiza.

^d Universität Zürich, Rämistrasse 71, 8006 Zürich, Suiza.

³ Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL, Ramiro Prialé 210 El Agustino, Lima - Perú.

La presente tesis es la extensión de un trabajo de investigación realizada por [Astorayme et al. \(2015\)](#) en colaboración con las instituciones mencionadas.

¹Email: m.astoraymev@pucp.pe

Dedicatoria

A mi madre, Victoria V., pues una vida no bastará para agradecerle su inmenso amor.

Agradecimientos

Una de las primeras etapas de todo joven profesional es el entrenamiento por parte de un tutor asignado en toda empresa o institución. Es así como el Ing. Oscar Felipe, actual director de la Dirección de Hidrología del [Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI](#), guió mis pasos en el apasionante sendero de la investigación. Sus consejos, buenos tratos y sabiduría; impulsaron e influenciaron a preparar el presente manuscrito. Por lo que hoy puedo dar fe, que entre estos años de aprendizaje y pasajes vividos fue, es y será como un padre para mí; y entre muchos avatares de la vida una inmensa alegría me lleva hoy a expresarle el mayor de los agradecimientos.

Precisar mi agradecimiento al [SENAMHI](#) y al [Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL](#) por la oportunidad brindada para iniciar mi formación profesional y por la realización de la presente tesis dentro del convenio que establecieron ambas instituciones. Además, reiterar mi especial agradecimiento al grupo humano que conforma la Dirección de Hidrología: Carlos, Cesar, Darwin, Dula, Ever, Fernando, Gladys, Guillermo, Hector, Henry, Jakori, Jesús, Julia, Juan, Julio, Luis, Mirian, Pepito, Sayury, Sofia, Tania, Waldo y Wilson; pues los pasajes vividos permiten que la amistad esté presente hoy y siempre.

Agradecer también al [Centre de recherche sur l'environnement alpin - CREALP](#), (Sion, Suiza); por el apoyo técnico y en especial al Dr. Javier García Hernández, actual director de dicha institución, por su incalculable contribución en el desarrollo de la presente tesis. Así como la colaboración de las siguientes instituciones: [Proyecto Glaciares 513](#), [COSUDE](#), [CARE](#), [Univeridad de Zurich](#), [Escuela Politécnica Federal de Lausanne](#) y [MeteoDat](#).

Agradecer también, a mi casa de estudio así como al equipo de biblioteca especializada de la EAPIMF, y en especial a la Sra. Carmen, de quien solo buenos recuerdos vienen hoy a mi mente y una agradable nostalgia me recuerda mis pasos dentro del equipo.

Finalmente, agradecer a mi asesor, D. Sarango, por su apoyo y entrega en la preparación de la presente tesis, así como a los jurados cuyos aportes enriquecieron la misma.

Resumen

Como consecuencia del cambio climático, la ocurrencia de eventos extremos en el país se viene intensificando. Por lo que, cada vez surge una mayor necesidad por conocer, gestionar y predecir con más detalle el comportamiento de la hidrología en las cuencas del país. En este contexto, la presente tesis expone los resultados obtenidos en la adecuación, evaluación y comparación de los modelos lluvia-escorrentía GR4J, SOCONT HBV y SAC-SMA a escala diaria en la cuenca del río Chillón bajo dos enfoques de modelización: agrupado y semidistribuido.

El mérito intelectual de la presente tesis gravita en el hecho de modelar las descargas diarias de la cuenca del Río Chillón, así como su emplazamiento a una etapa de pronóstico de caudales a corto plazo. Esto tiene el potencial de contribuir a minimizar las pérdidas humanas y materiales bajo la pronta predicción de las crecidas del caudal del río Chillón. Además, esto guarda estrecha relación en la formación de un sistema de alerta temprana en la cuenca de estudio, siendo esto una perspectiva a futuro.

La presente tesis se encuentra distribuida como sigue: en el [Capítulo 1](#) se presentan los aspectos generales de la investigación. El [Capítulo 2](#) se concentra en los antecedentes, definiciones y conceptos, enfatizando en la conceptualización de los modelos propuestos. El [Capítulo 3](#) se concentra en la descripción y análisis exploratorio de la hidroclimatología de la hoya, así como la descripción de la metodología seguida en la investigación. El [Capítulo 4](#) se concentra en la discusión de los resultados, a saber: adecuación y comparación de los modelos propuestos; análisis de sensibilidad de parámetros; criterios considerados para la determinación de los umbrales de alerta temprana; concluyendo con la prueba de pronósticos de caudales a partir de la previsión de lluvias Eta-Senamhi y WRF. Finalmente, en el [Capítulo 5](#) se presentan las conclusiones generales de la investigación y el trabajo futuro recomendado.

Abstract

As a result of climate change, the frequency of extreme climatic events are increasing in the country. Due to these events, a necessity to know, manage and be able to forecast of the water resources in the whole country is imperative. In that context, the current thesis presents the adaptation, evaluation and comparison of hydrology models: GR4J, SOCONT, HBV and SAC-SMA in River Chillon basin, under two modelling approaches, lumped and semidistributed.

The main achievement of the research focuses in modelling the daily discharges, as well as to provide forecasting into estimates of River Chillon basin discharges. We believe that the aforementioned work has the potential to minimize human and material losses. Furthermore, this is closely associated with the implementation of a flood Early Warning System, as a basis of future research.

The present thesis is organized as follows: the [Chapter 1](#) presents the general aspects of the research. [Chapter 2](#) focuses on the background, definitions and concepts, aiming the attention at the physics of the hydrology models proposed. [Chapter 3](#) scrutinizes the description and exploratory analysis of the meteorological and hydrological observations data, as well as the description of the followed methodology using in the current research. [Chapter 4](#) elaborates on the discussion of the results, such as: adaptation and comparison modelling approach; sensitivity analysis of parameters, criteria to obtain alert thresholds and conclude with the testing of forecasting discharges using forecasted precipitation from Eta-Senamhi and WRF. Finally, in [Chapter 5](#) we present the general conclusions of the study and the future work.

Résumé

En réponse au changement climatique, la fréquence des événements climatiques extrêmes a augmenté dans le Peru. En raison de ces événements, il est nécessaire de se rendre compte, de gérer et d'être capable de prévoir les ressources en eau dans tout le pays. Dans ce contexte, la thèse suivante présente l'adaptation, l'évaluation et la comparaison de plusieurs modèles hydrologiques GR4J, SOCONT, HBV et SAC-SMA, appliqués dans le bassin versant de la rivière Chillón. Cela va se faire selon deux approches de modélisation: groupée et semidistribuée.

Les principaux résultats de cette recherche concernent la modélisation des décharges journalières ainsi que l'estimation des décharges dans l'entièreté du bassin versant de la rivière Chillón. Nous pensons que le travail su-mentionné aura le potentiel de minimiser les impacts humains et les pertes matérielles. De plus, cette étude est étroitement associée à la mise en place d'un système d'alerte précoce des inondations, comme bases pour des recherches futures.

L'étude suivante est organisée de la manière suivante: dans le [Chapitre 1](#) sont présentés les aspects généraux de la recherche. Le [Chapitre 2](#) présente le contexte, les définitions et les concepts nécessaires à la compréhension de l'étude. De plus, une attention est portée sur la physique et des modèles hydrologiques utilisés. Le [Chapitre 3](#) comprend les descriptions et les explications des analyses effectuées sur les données météorologiques et hydrologiques ainsi que la description des méthodologies utilisées dans la recherche. La [Chapitre 4](#) se concentre sur la discussion des résultats obtenus, comme l'adaptation et la comparaison des approches de modélisation (analyses de sensibilité des paramètres du modèle, les critères utilisés afin de fixer des seuils d'alerte et les tests de prévision des décharges en utilisant des prévisions de précipitations de Eta-Senamhi et WRF). Finalement, le [Chapitre 5](#) comprend une conclusion générale de l'étude et des futures recherches.

Índice general

| | |
|---|-------------|
| Resumen | VI |
| Abstract | VII |
| Résumé | VIII |
| Lista de figuras | XIV |
| Lista de tablas | XVI |
| Capítulo 1 Aspectos generales de la investigación | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.2.1 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Planteamiento del problema y justificación | 3 |
| Capítulo 2 Revisión bibliográfica | 4 |
| 2.1 Modelos matemáticos en la hidrología | 4 |
| 2.1.1 Modelos hidrológicos Determinísticos y Estocásticos | 6 |
| 2.1.2 Modelos hidrológicos Teóricos, Conceptuales y Empíricos | 8 |
| 2.1.3 Modelos hidrológicos Lineales y no Lineales en el sentido de la teoría del sistema y de la regresión estadística | 8 |
| 2.1.4 Modelos hidrológicos Agrupados, Semidistribuidos y Distribuidos | 9 |
| 2.2 Indicadores estadísticos de eficiencia | 11 |
| 2.2.1 Coeficiente de Nash-Sutcliffe | 11 |
| 2.2.2 Coeficiente de Nash para valores logarítmicos | 12 |
| 2.2.3 Coeficiente de correlación de Pearson (r) | 12 |
| 2.2.4 Raíz del error medio cuadrático relativo (RRMSE) | 12 |
| 2.2.5 Volumen relativo del sesgo (RVB) | 12 |

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| 2.3 | modelos lluvia-escorrentía | 13 |
| 2.3.1 | Modelo hidrológico GR4J | 13 |
| 2.3.2 | Modelo hidrológico SOCONT | 18 |
| 2.3.3 | Modelo hidrológico HBV | 23 |
| 2.3.4 | Modelo hidrológico SAC-SMA | 28 |
| 2.4 | Herramienta computacional | 35 |
| 2.4.1 | Descripción general | 35 |
| 2.4.2 | Elementos para la modelización: Objetos | 36 |
| 2.4.3 | Elementos para la modelización: Caja de herramientas | 37 |
| Capítulo 3 | Materiales y métodos | 42 |
| 3.1 | Cuenca del río Chillón | 42 |
| 3.1.1 | Subunidades y climatología de la cuenca | 43 |
| 3.1.2 | Área de estudio | 49 |
| 3.2 | Información hidro-meteorológica | 50 |
| 3.2.1 | Análisis de la información meteorológica | 51 |
| 3.2.2 | Registros de precipitación | 51 |
| 3.2.3 | Registros de temperatura | 54 |
| 3.2.4 | Estaciones de aforo en la cuenca | 56 |
| 3.2.5 | Discusión: tratamiento de la información meteorológica | 58 |
| 3.3 | Metodología seguida en la investigación | 59 |
| 3.4 | Espacialización del área de estudio | 60 |
| 3.4.1 | División del área de estudio en subcuencas | 60 |
| 3.4.2 | ¿Qué es una banda altitudinal? | 61 |
| 3.4.3 | División del área de estudio en bandas altitudinales | 62 |
| 3.4.4 | ¿Qué es una zona? | 63 |
| 3.4.5 | Formación de zonas homogéneas | 63 |
| 3.5 | Adecuación de un modelo semidistribuido | 65 |
| 3.5.1 | Adecuación de una subcuenca | 65 |
| 3.5.2 | Adecuación del área de estudio | 66 |
| 3.5.3 | Acerca de la información de entrada a los modelos | 67 |
| 3.5.4 | Periodos asumidos para la calibración y validación | 68 |
| 3.5.5 | Acerca del proceso de calibración automática | 68 |
| 3.5.6 | Acerca del número de parámetros a calibrar | 69 |
| 3.5.7 | Metodología seguida: calibración de un modelo semidistribuido | 69 |
| 3.5.8 | Metodología seguida: validación de un modelo semidistribuido | 70 |

| | |
|--|------------|
| Índice general | XI |
| 3.6 Adecuación de un modelo agrupado | 70 |
| 3.6.1 Adecuación del área de estudio | 70 |
| 3.6.2 Metodología seguida: calibración y validación de un modelo agrupado | 71 |
| Capítulo 4 Análisis y discusión de resultados | 72 |
| 4.1 Calibración y Validación | 72 |
| 4.1.1 Modelo GR4J agrupado y semidistribuido | 73 |
| 4.1.2 Modelo SOCONT agrupado y semidistribuido | 75 |
| 4.1.3 Modelo HBV agrupado y semidistribuido | 77 |
| 4.1.4 Modelo SAC-SMA agrupado y semidistribuido | 79 |
| 4.1.5 Parámetros obtenidos en la etapa de calibración | 80 |
| 4.2 Análisis de sensibilidad de parámetros | 82 |
| 4.2.1 Análisis de sensibilidad del modelo GR4J | 82 |
| 4.2.2 Análisis de sensibilidad del modelo SOCONT | 84 |
| 4.2.3 Análisis de sensibilidad del modelo HBV | 87 |
| 4.2.4 Análisis de sensibilidad del modelo SAC-SMA | 91 |
| 4.3 Análisis comparativo de caudales simulados | 96 |
| 4.3.1 Análisis comparativo: modelos hidrológicos semidistribuidos | 96 |
| 4.3.2 Análisis comparativo: modelos hidrológicos agrupados | 101 |
| 4.3.3 Análisis comparativo de la respuesta de los modelos hidrológicos agrupados y semidistribuidos | 104 |
| 4.4 Protocolo operacional de pronóstico diario de caudales | 110 |
| 4.4.1 Acerca del POPDC | 110 |
| 4.4.2 Determinación de umbrales de alerta | 110 |
| 4.4.3 Relación empírica entre las descargas máximas diarias ins- tantáneas y medias | 115 |
| 4.4.4 Pronóstico de caudales a partir de la previsión de lluvia ETA- SENAMHI y WRF | 116 |
| Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones | 121 |
| 5.1 Conclusiones | 121 |
| 5.2 Recomendaciones | 122 |
| Bibliografía | 128 |
| Apéndice A Tablas de datos hidroclimáticos empleados y generados | 129 |
| Apéndice B Mapas climáticos multianuales en la cuenca del río Chillón | 154 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Clasificación de modelos matemáticos en la hidrología I. | 5 |
| 2.2 | Clasificación de modelos matemáticos en la hidrología II. | 5 |
| 2.3 | Clasificación de los modelos hidrológicos, según su desagregación espacial. | 6 |
| 2.4 | Estructura del modelo GR4J | 13 |
| 2.5 | Estructura del modelo SOCONT | 18 |
| 2.6 | Estructura del modelo HBV | 23 |
| 2.7 | Estructura del modelo SAC-SMA | 28 |
| 2.8 | Entorno del Software RS MINERVE | 36 |
| 2.9 | Objetos base | 37 |
| 2.10 | Módulos del RS Minerve | 38 |
| 2.11 | Módulo del RS experto | 39 |
| 2.12 | Módulo del RS Gis | 40 |
| 2.13 | Módulo del RS base de datos | 40 |
| 2.14 | Grillas de pronóstico de lluvia y ubicación de estaciones meteorológicas en el territorio peruano | 41 |
| 3.1 | Mapa de subcuencas de la cuenca del río Chillón | 44 |
| 3.2 | Curva Hipsométrica por subcuenca - Cuenca del río Chillón | 45 |
| 3.3 | Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chillón | 46 |
| 3.4 | Mapa de precipitación multianual en la cuenca del río Chillón | 46 |
| 3.5 | Mapa de temperatura multianual máxima de la cuenca del río Chillón | 47 |
| 3.6 | Mapa de temperatura multianual mínima de la cuenca del río Chillón | 47 |
| 3.7 | Mapa de evapotranspiración multianual de la cuenca del río Chillón | 48 |
| 3.8 | Mapa climático de la Cuenca del río Chillón | 48 |
| 3.9 | Delimitación del área de estudio: Subcuenca Magdalena | 49 |
| 3.10 | Ubicación de estaciones hidrometeorológicas | 50 |
| 3.11 | Diagrama de barras, precipitación multimensual en la cuenca de estudio | 53 |

| | |
|--|-----|
| 3.12 Diagrama de Curva doble masa | 53 |
| 3.13 Diagrama de barras, temperatura multimensual en la cuenca de estudio. . . | 54 |
| 3.14 Análisis de la temperatura mensual | 55 |
| 3.15 Fotografías actuales de las estaciones hidrológicas en la cuenca del Chillón | 56 |
| 3.16 Caudales diarios Estación Puente Magdalena, periodo (set/04 - feb/14) . . | 57 |
| 3.17 Caudales diarios Estación Puente Magdalena, periodo (set/04 - feb/14) . . | 57 |
| 3.18 Diagrama de la metodología | 59 |
| 3.19 Divisoria de subcuencas para el área de estudio | 60 |
| 3.20 Delimitación por bandas para una subcuenca en RS MINERVE | 61 |
| 3.21 Delimitación por subcuencas y bandas altitudinales para área de estudio . | 62 |
| 3.22 Desagregación espacial del área estudio en bandas, zonas y subcuencas . | 64 |
| 3.23 Comportamiento de la precipitación en área de estudio | 64 |
| 3.24 Representación de una subcuenca segmentada en bandas en RS MINERVE | 65 |
| 3.25 Adecuación de un modelo semidistribuido en la cuenca de estudio | 66 |
| 3.26 Esquema de la metodología seguida para la calibración | 70 |
| 3.27 Adecuación de un modelo agrupado en la cuenca de estudio | 71 |
| 4.1 Hidrogramas simulados y observados, modelo GR4J | 74 |
| 4.2 Hidrogramas simulados y observados, modelo SOCONT | 76 |
| 4.3 Hidrogramas simulados y observados, modelo HBV | 78 |
| 4.4 Hidrogramas simulados y observados, modelo SAC-SMA | 79 |
| 4.5 Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo GR4J. | 83 |
| 4.6 Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SOCONT | 85 |
| 4.7 Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo HBV | 88 |
| 4.8 Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SAC-SMA | 92 |
| 4.9 Hidrogramas simulados y observados, modelos con enfoque semidistribuido | 97 |
| 4.10 Series simuladas y observadas multimensuales, modelos semidistribuidos | 98 |
| 4.11 Caudales generados por subcuenca, modelos con enfoque semidistribuido | 100 |
| 4.12 Hidrogramas simulados y observados, modelos con enfoque agrupado . . | 101 |
| 4.13 Caudales generados por subcuenca, modelos con enfoque agrupados . . . | 103 |
| 4.14 Descargas multianuales, enfoque agrupado y semidistribuido | 105 |
| 4.15 Diagrama de dispersión de caudales: observado Vs. modelos con enfoque semidistribuido y agrupado | 106 |
| 4.16 Curvas de duración simuladas y observadas, estación Puente Magdalena . | 107 |
| 4.17 Percentiles 20, 30, 40, 60 y 80 para ambos enfoque de modelamiento . . . | 109 |
| 4.18 Registro histórico de caudales instantáneos máximos anuales 1975-2009 . | 111 |

| | |
|---|-----|
| 4.19 Ajuste de la f.d.p Pearson tipo III para las descargas máximas del río Chillón | 112 |
| 4.20 Umbrales y franjas de color de alerta por inundación | 113 |
| 4.21 Descargas máximas instantáneas y descargas medias diarias por año . . . | 115 |
| 4.22 Diagrama de dispersión de las descargas máximas anuales | 116 |
| 4.23 Serie de caudales diarios para el año 2016 | 117 |
| 4.24 Pronósticos de caudales para los modelos con enfoque semidistribuido . . | 119 |

Lista de Tablas

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Valores referenciales del Coeficiente de Nash-sutcliffe | 11 |
| 2.2 | Indicadores estadísticos de eficiencia | 12 |
| 2.3 | Rangos y parámetros del modelo GR4J | 17 |
| 2.4 | Valores iniciales del modelo GR4J | 17 |
| 2.5 | Rangos y parámetros del modelo SOCONT | 22 |
| 2.6 | Parámetros iniciales del modelo SOCONT | 22 |
| 2.7 | Rangos y parámetros del modelo HBV | 27 |
| 2.8 | Parámetros iniciales del modelo HBV | 27 |
| 2.9 | Rangos y parámetros del modelo SAC-SMA | 34 |
| 2.10 | Parámetros iniciales del modelo SAC-SMA | 34 |
| 2.11 | Resumen, descripción de complementos para RS MINERVE | 36 |
| 3.1 | Provincias y distritos de la cuenca del río Chillón | 43 |
| 3.2 | Subcuencas del río Chillón | 43 |
| 3.3 | Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chillón | 44 |
| 3.4 | Resumen de estaciones hidrometeorológicas en el área de estudio | 51 |
| 3.5 | Resumen, subcuencas y bandas altitudinales | 62 |
| 3.6 | Resumen, subcuencas, bandas altitudinales y gradientes de precipitación | 64 |
| 3.7 | Información de entrada requerida por los modelos propuestos | 67 |
| 3.8 | Periodo de validación y calibración considerados en la adecuación | 68 |
| 3.9 | Número de parámetros para los modelos hidrológicos propuestos | 69 |
| 4.1 | Indicadores de eficiencia, modelo GR4J luego del proceso de calibración | 74 |
| 4.2 | Indicadores de eficiencia, modelo SOCONT luego del proceso de calibración | 76 |
| 4.3 | Indicadores de eficiencia: modelo HBV después del proceso de calibración | 78 |
| 4.4 | Indicadores de eficiencia, modelo SAC-SMA luego del proceso de calibración | 80 |
| 4.5 | parámetros obtenidos para los modelos propuestos | 81 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4.6 | Variación de los parámetros del modelo GR4J | 83 |
| 4.7 | Variación de los parámetros del modelo SOCONT | 85 |
| 4.8 | Variación de los parámetros del modelo HBV | 89 |
| 4.9 | Variación de los parámetros del modelo SAC-SMA | 93 |
| 4.10 | Caudales multimensuales simulados y observados: modelos semidistribuidos | 99 |
| 4.11 | Caudales multianuales generados por subcuenca: modelos semidistribuidos | 100 |
| 4.12 | Caudales multimensuales simulados y observados: Modelos agrupados . . | 102 |
| 4.13 | Caudales multianuales generados por subcuenca: modelos agrupados . . | 103 |
| 4.14 | Resumen indicadores estadísticos de eficiencia | 104 |
| 4.15 | Caudales máximos anuales instantáneos, estación Puente Magdalena . . . | 111 |
| 4.16 | Resumen de las pruebas empleadas para la determinación de la f.d.p. . . . | 112 |
| 4.17 | Rango de umbrales de alerta temprana | 113 |
| 4.18 | Caudales máximos anuales instantáneos, estación Puente Magdalena . . . | 115 |
| 4.19 | Pronósticos para los días 19, 20 y 21 de abril, Estación Obrajillo | 118 |
| 4.20 | Pronósticos para los días 19, 20 y 21 de abril, Estación Puente Magdalena | 118 |

Aspectos generales de la investigación

“Sólo cuando un modelo ha sido objetivamente calibrado y evaluado puede ser aplicado a un problema específico con la seguridad de que se está haciendo el mejor uso de los datos y que algo se sabe sobre el orden de magnitud de la precisión y predicción.”

—Chong-yu Xu

1.1. Introducción

En las últimas décadas la ocurrencia de eventos extremos asociados a la variabilidad climática y aún más frente a la presencia de patrones anormales de precipitación por efecto del cambio climático se vienen intensificando en el Perú ([Lavado, 2010](#)). Sumado a esto, las cuencas de la costa, como la del río Chillón, revelan una alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de deslizamientos, crecidas e inundaciones, que ocasionan fuertes impactos en la población, infraestructura, servicios, transporte, etc. ([INDECI, 2001](#); [INGEMMET, 2009, 2015](#)).

Por otro lado, la cuenca del Río Chillón alberga cerca del 5 % de la población peruana ([INEI, 2007](#)) siendo una de las cuencas circunscritas al departamento de Lima, cuyo población es cerca del 30 % del país. Como consecuencia, desde la década pasada la cuenca del río Chillón, al igual que otras cuencas de la costa, presentan déficit hídrico ([INRENA, 2003](#)). Por lo que cuantificar, monitorear, predecir y gestionar el recurso hídrico en la cuenca del río Chillón se hace apremiante.

En este contexto, el modelamiento hidrológico en el Perú toma gran relevancia desde inicios de la década pasada; durante esta década se realizaron diversos estudios de modelamiento meteorológico e hidrológico en el contexto del cambio climático, e.g. [MINAN \(2010\)](#); [SENAMHI \(2009\)](#). Además, a inicios del 2014 el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) junto con el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) firmaron un convenio para la ejecución de un estudio

de Vulnerabilidad Climática de los Recursos Hídricos ([SENAMHI, 2014](#)). Entre los objetivos de este proyecto se estableció la evaluación e implementación con fines operativos de modelos hidrológicos.

En consecuencia, la presente tesis está orientado en primer lugar a la calibración y validación de 04 modelos lluvia-escorrentía en la cuenca del río Chillón, a saber: [1] Génie Rural à 4 paramètres Journalier - GR4J, ([Perrin et al., 2003](#)); [2] Soil Contribution - SOCONT, ([Consuegra and Vez, 1996](#)); [3] Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning - HBV, ([Bergström, 1992](#)); [4] y Sacramento Soil Moisture Accounting - SAC-SMA, ([Burnash et al., 1973](#)).

Por su importancia, la Cuenca del río Chillón fue seleccionada para evaluar la capacidad predictiva de dichos modelos, para los fines de pronóstico operacional de caudales medios diarios. Cabe señalar que el modelamiento hidrológico está basado en dos enfoques de modelización matemática: agrupado y semidistribuido.

Se presentan los resultados obtenidos de la adecuación de ambos enfoques de modelamiento, así como el análisis de sensibilidad de los parámetros obtenidos en el proceso de calibración. Además, se realizó el análisis comparativo de caudales simulados a partir de indicadores estadísticos de eficiencia, diagramas de dispersión y percentiles, cuadros comparativos, entre otros. Finalmente, se realizaron pruebas de pronósticos del caudales medios diarios con una proyección de 72 horas a partir de la previsión de lluvia de los modelos regionales climáticos ETA-SENAMHI ([Avalos, 2009](#)) y WRF ([Cheng and Steenburgh, 2005](#)).

1.2. Objetivos

Evaluar la respuesta hidrológica de 4 modelos hidrológicos lluvia-escorrentía bajo un enfoque espacial agrupado y un enfoque semidistribuido mediante la utilización de una plataforma integrada de modelamiento hidro-meteorológico RS MINERVE, aplicada al pronóstico de caudales diarios del río Chillón.

1.2.1. Objetivos específicos

- Realizar la calibración y validación de los modelos: GR4J, SOCONT, HBV y SAC.
- Realizar el análisis de sensibilidad de los parámetros de los modelos.
- Realizar el análisis comparativo de los caudales diarios simulados.
- Proponer un protocolo operacional del pronóstico diario de caudales acoplando las salidas de la previsión de lluvias del ETA-SENAMHI y WRF con un horizonte de 3 días.

1.3. Planteamiento del problema y justificación

La presente investigación se justifica en la medida que no se tiene implementado un sistema de pronóstico hidrológico operacional en la cuenca del río Chillón para atender las necesidades de prevención y la gestión de riesgos de desastres; como se tiene en la cuenca del Rímac ([Metzger et al., 2001](#)). Por otro lado, el uso de más de un modelo hidrológico permitirá disminuir las incertidumbres en la predicción hidrológica determinística. La principal hipótesis del presente trabajo de investigación es que es posible hacer estimaciones confiables del caudal mediante la adecuada selección y aplicación de modelos matemáticos de transformación lluvia-escorrentía en la cuenca del río Chillón.

Revisión bibliográfica

“Todos los modelos están equivocados, pero algunos son útiles.”

—George E. P. Box

Dada la necesidad por comprender los procesos físicos de transformación lluvia-escorrentía, diversos enfoques de modelamiento hidrológico fueron propuestos. Así, la Organización Meteorológica Mundial, quien es el ente rector, establece una clasificación general, a saber: físicos, analógicos y matemáticos (OMM, 2011). Este último es de uso extendido por lo que de aquí en adelante se establecen definiciones, clasificaciones, comparaciones y ejemplos respecto a este.

2.1. Modelos matemáticos en la hidrología

Los modelos hidrológicos con fundamento matemática presentan actualmente gran aceptación por parte de la comunidad científica, debido al desarrollo de las computadoras. Ellos tienen sus bases en la econometría, siendo empleados con éxito en diversas tareas dentro del campo de la hidrología, e.g. generación de información hidrológica en cuencas no aforadas; diseño hidrológico, gestión de recursos hídricos; monitoreo, modelamiento y pronóstico hidrológico; control de inundaciones.

En tal sentido, y antes de presentar una descripción profunda sobre los modelos matemáticos en la hidrología, el autor cree por conveniente primero invitar al lector a reflexionar acerca de las siguientes interrogantes: ¿Qué es un modelo matemático? ¿Qué es un modelo hidrológico?

Un modelo matemático no es un remplazo de las observaciones de campo, su valor reside en la elección y ajuste correcto de expresiones matemáticas para estimar la información hidrológica. Por lo tanto, un modelo matemático debe entenderse como una simplificación de un sistema complejo gobernado por un conjunto de ecuaciones (Clarke, 1973). Las ecuaciones presentan variables ($\frac{\partial Var}{\partial t} \neq 0$): definidas como características de un sistema al cual se pretende modelar (Dooge, 1973); y de parámetros ($\frac{\partial Par}{\partial t} = 0$): definidos como cantidades que caracterizan a un sistema.

Un modelo hidrológico es una idealización de los fenómenos físicos que relaciona las variables hidrometeorológicas como son la escorrentía, precipitación, temperatura, evapotranspiración entre otras (Chow et al., 1988).

Los modelos matemáticos en la hidrología son clasificados de diversas formas. Así, una clasificación (Figura 2.1) fue dada por Chow (1964) y más tarde descrita por Clarke (1973) y Chow et al. (1988).

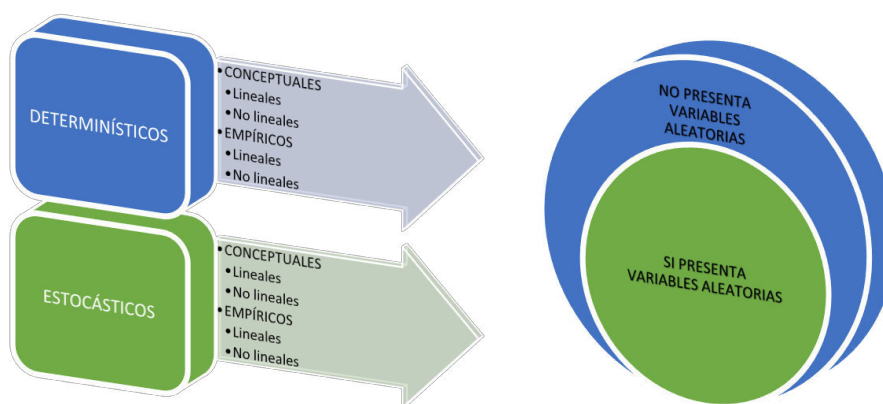


Figura 2.1: Clasificación de modelos matemáticos en la hidrología I.

Fuente: Adaptado de (Clarke, 1973)

Otra clasificación más detallada de modelos en la hidrología (Figura 2.2) es dada por Xu (2002) en su libro Hydrologic Models y usada también por Singh (1988).

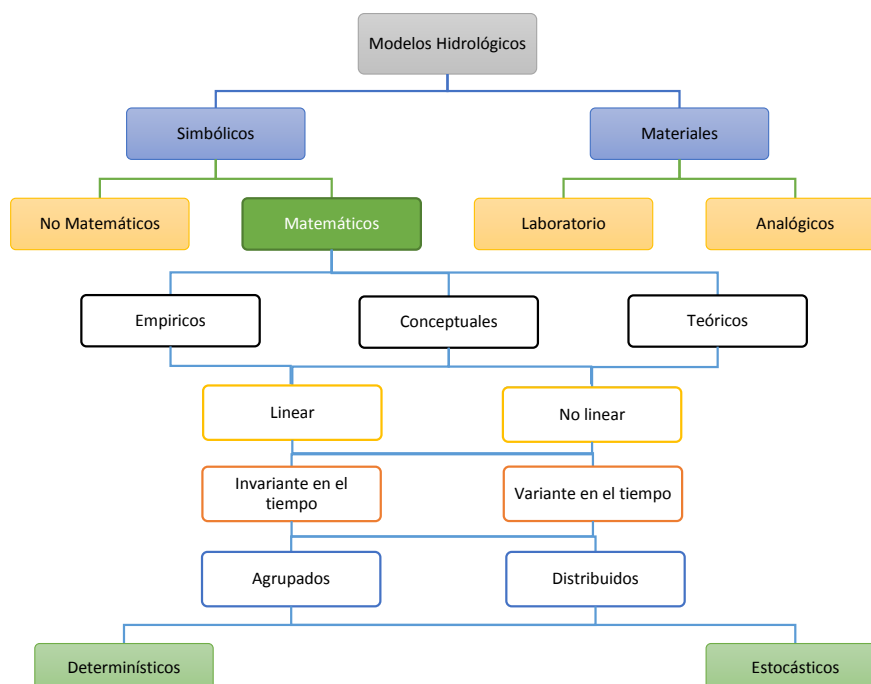


Figura 2.2: Clasificación de modelos matemáticos en la hidrología II.

Fuente: Xu (2002)

Los modelos hidrológicos pueden ser clasificados en función a su desagregación espacial como lo menciona la Organización Meteorológica Mundial ([Figura 2.3](#)). La descripción de esta última clasificación, la cual presenta gran aceptación entre hidrólogos, es expuesta en el [Apartado 2.1.2](#).

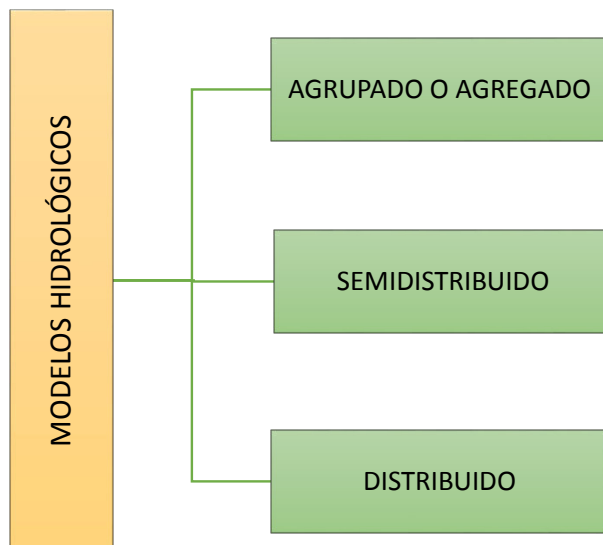


Figura 2.3: Clasificación de los modelos hidrológicos, según su desagregación espacial.

Fuente: [OMM \(2011\)](#)

2.1.1. Modelos hidrológicos Determinísticos y Estocásticos

La diferencia fundamental entre los modelos determinísticos y estocásticos es la consideración de la oportunidad de ocurrencia de las variables y la introducción del concepto de probabilidad en la formulación del modelo ([Kisiel, 1969](#)). Como consecuencia, los modelos determinísticos puedan pronosticar la realidad sujetos a una sola respuesta, mientras que los modelos estocásticos pueden predecir la realidad generando respuestas múltiples en función de la aleatoriedad de las variables definidas para el modelo. Sin embargo, los modelos determinísticos han dado buenos resultados, en tanto la variabilidad de la salida de un modelo sea pequeña.

2.1.1.1. Modelos Determinísticos

Un modelo determinístico, describe el comportamiento del ciclo hidrológico, en términos de expresiones matemáticas, las cuales diseñan las relaciones e interacciones de los varios componentes del sistema hidrológico espacial y temporal. Además, pueden presentar componentes o modelos parciales que representan cada proceso hidrológico en particular.

A continuación se plasman algunas de las ventajas y desventajas del uso de modelos determinísticos.

a) Ventajas de los modelos Determinísticos

- Son ejecutados fácilmente una vez establecido las variables de entrada.
- Pueden operar como modelos continuos o como modelos de eventos simples.
- Este tipo de modelos, esquematizan el sistema hidrológico lo cual estimula la generación de nuevas ideas dando como consecuencia un mejor entendimiento del sistema total.

b) Desventajas de los modelos Determinísticos

- Requieren de una gran cantidad de información, series largas y continuas de datos que en muchas ocasiones no se tiene o no necesariamente presentan la calidad deseada.
- En ocasiones no se toma en cuenta la incertidumbre en la respuesta entre los subsistemas del sistema hidrológico total.
- Las simplificaciones en la esquematización de los sistemas hidrológicos puede conllevar más adelante a errores de adaptación de datos.
- Estos modelos son complejos y requieren capacitación y experiencia para operar exitosamente, factores que imponen severas restricciones en su aplicación práctica.

2.1.1.2. Modelos Estocásticos

Un modelo estocástico utiliza propiedades estadísticas de los registros existentes (muestra de datos) y leyes de probabilidad, junto con un generador de números aleatorios para generar series sintéticas, considerados como eventos posibles. Ellos son usados en la resolución de problemas hidrológicos, empleando estadísticas (i.e. media, desviación estándar, coeficiente de variación y correlación serial). Por lo que, la mayor parte de los modelos estocásticos son usados para generar datos de entrada de un modelo conceptual o para generar salidas directas.

En los modelos estocásticos, los datos de entrada son generados aleatoriamente, por consiguiente la información de salida, es diferente debido a que resulta de procesos estadísticos, aleatorios y de probabilidad. Sin embargo, se debe considerar que las variables climáticas siguen una función de distribución de probabilidad Normal con parámetros: $\bar{x} = 0$ (media) y $\sigma^2 = 1$. (desviación estándar), siendo supuestos que se asumen en la hidrología estocástica. Además, en un modelo estocástico muchas series similares pueden ser simuladas y utilizadas en planeamiento y diseño de sistemas de recursos hidráulicos.

A continuación se citan diversos ejemplos de modelos estocásticos:

- El método de Montecarlo (que obtiene valores sintéticos por una técnica de muestreo o cierta forma de generador de números aleatorios)

- Los correlogramas, que son representaciones gráficas de coeficientes de auto correlación como funciones de retardo. En este caso la representación es usada principalmente como una herramienta para el análisis de procesos hidrológicos.
- El método de promedios móviles.

2.1.2. Modelos hidrológicos Teóricos, Conceptuales y Empíricos

Los modelos Teóricos denominados modelos de caja blanca o modelos físicamente basados, *White-Box models* Xu (2002), presentan una estructura similar al mundo real pues toman en cuenta todos los procesos internos del sistema a considerar. Ejemplo de estos son aquellos modelos basados en la ecuación de Saint Venant o las ecuaciones basadas en transporte en agua subterránea (Freeze, 1971).

La diferencia entre modelos teóricos y empíricos puede entenderse como la manera de interpretar la realidad. Así, los modelos empíricos, denominados modelos de caja negra o *black-Box models*, (Clarke, 1973), no se fundamentan en procesos físicos sino más bien en parámetros que pueden tener pequeñas interpretaciones físicas.

Por otro lado, los modelos conceptuales representan procesos simplificados de la realidad haciéndolos más eficaces a la hora de evaluar la variabilidad del clima, el cambio climático, los cambios y uso de la tierra, y otras actividades (OMM, 2011). En consecuencia, los modelos conceptuales se categorizan como modelos intermedios entre los modelos teóricos y empíricos. Ellos son denominados modelos de caja gris o *grey-Box models*, (Xu, 2002).

Ejemplo de modelos empíricos son los conocidos GR4J (Perrin et al., 2003), SOCONT (Consuegra and Vez, 1996), modelo de Redes Neuronales; estos son de corte determinístico mientras que los de corte estocástico se puede mencionar a las series de tiempo ARMA (autoregressive moving average model). Ejemplo de modelos conceptuales pueden mencionarse a los modelos HBV (Bergström, 1992) y SAC (Burnash et al., 1973).

Otra distinción entre modelos empíricos y conceptuales es descrita por Edijatno et al. (1999) y tomada más tarde como referencia por Perrin et al. (2003), se menciona que la diferencia entre ambos solo refiere a la forma en que fue construida la estructura del modelo.

2.1.3. Modelos hidrológicos Lineales y no Lineales en el sentido de la teoría del sistema y de la regresión estadística

Los modelos serán lineales, en el sentido de la teoría de sistema, siempre y cuando se cumpla el principio de superposición.

Sea $Y_1(t)$ y $Y_2(t)$ las salidas que correspondan a las entradas $X_{1(t)}$ y $X_{2(t)}$ de

un modelo, entonces para que un modelo sea lineal debe cumplirse que la entrada $X1_{(t)} + X2_{(t)}$ corresponda a $Y1_{(t)} + Y2_{(t)}$.

Los modelos serán lineales en el sentido de la regresión estadística si es lineal en los parámetros que serán estimados. Por lo tanto, si $Y_{(t)}$ y $X2_{(t)}$ son la salida y entrada de un modelo luego estarán relacionadas por la ecuación $y = a + bx + cx^2$ (Clarke, 1973).

2.1.4. Modelos hidrológicos Agrupados, Semidistribuidos y Distribuidos

La principal diferencia entre ellos es la variación espacial de los parámetros y las variables que caracterizan los procesos físicos de una cuenca. Así, los modelos agrupados consideran a una hoya como una sola unidad, mientras que los modelos semidistribuido y distribuidos consideran los procesos físicos como una función de la espacialidad de la cuenca. Siendo los modelos distribuidos aquellos que persiguen una mayor claridad y detalle en este aspecto.

2.1.4.1. Modelos Agrupados

Un modelo es agrupado cuando considera a una cuenca como una unidad simple. De esta forma, un modelo agrupado no considera características de variación espacial de respuesta hidrológica, a saber: variación espacial del clima, suelo, pendientes y/o cambios en la cubierta vegetal dentro de la cuenca. Cabe resaltar que a inicios del año 2001 entró en operación un modelo de este clase para el control de avenidas en la cuenca del Rímac (Metzger et al., 2001). El modelo viene siendo operado por la subdirección de pronóstico hidrológico del SENAMHI.

Como ejemplo de modelos agrupados se pueden mencionar a los modelos a evaluar en la presente tesis, a saber: GR4J (Perrin et al., 2003), SOCONT (Consuegra and Vez, 1996), HBV (Bergström, 1992) y SAC (Burnash et al., 1973).

a) Ventajas de los modelos Agrupados

- Facilidad de uso del modelo.
- Facilidad para obtener la información de entrada.
- Rapidez, en la obtención de resultados.

b) Desventajas de los modelos Agrupados

- No describen de forma minuciosa los efectos de la variabilidad espacial dentro de la cuenca.
- No se puede conocer las salidas intermedias de descarga dentro de la cuenca.
- Los procesos hidrológicos responden de forma no lineal y posteriormente los valores promedio pueden conducir a errores significativos en la simulación.

2.1.4.2. Modelos Distribuidos

Son considerados de carácter variable y heterogéneo pues dividen la cuenca en unidades de respuesta hidrológica relativamente homogéneas asignándole parámetros que describen las características individuales de clima, suelo y vegetación. Así, un modelo distribuido considera la variación espacial de las características de una cuenca.

Un ejemplo de modelo distribuido es el Sistema Hidrológico Europeo (Instituto de Hidráulica Danés). Este es un modelo desarrollado mediante ecuaciones diferenciales parciales que describen los procesos físicos de la cuenca como es la intersección, evaporación, flujo de superficie y de cauce, movimiento del agua a través de zonas saturadas y no saturadas, y fusión de nieve.

a) Ventajas de los modelos Distribuidos

- Al interior de una cuenca pueden ocurrir cambios de clima temporal, de uso de suelo y vegetación, como resultado de influencias naturales o humanas; estando en la capacidad de predecir los efectos de estos cambios en la respuesta hidrológica de la cuenca.
- Una ventaja adicional de los modelos de parámetros distribuidos es, que la información hidrológica es generada en muchos puntos dentro de la cuenca, y no en uno sólo (e.g. solamente a la salida de la cuenca). Cada unidad lleva consigo su propio análisis, así la información hidrológica es disponible para cada unidad o elemento.
- Los modelos distribuidos con submodelos de calidad de aguas, son capaces de aislar las fuentes de problemas de calidad de aguas dentro de una cuenca y trazar el movimiento de los contaminantes a la salida de la cuenca

b) Desventajas de los modelos Distribuidos

- Los modelos distribuidos son considerados más complejos que los modelos agrupados, sin embargo un modelo complejo no necesariamente presenta un mejor desempeño.
- Las investigaciones de campo son costosas y requieren gran cantidad de tiempo así como de información climática, lo cual se requiere para describir la variabilidad espacial de una cuenca. Esta es una de las mayores desventajas de los modelos de parámetros distribuidos.
- La gran cantidad de información y la complejidad de los métodos computacionales a usar, restringen el uso de este tipo de modelos.
- Los usuarios de los modelos distribuidos tendrán que estar bien entrenados, en la aplicación de estos modelos, y deberán estar en la capacidad de interpretar adecuadamente los resultados.

2.1.4.3. Modelos Semidistribuidos

Esta clase de modelos vienen a salvar la dificultad en la construcción de un modelo distribuido y la poca capacidad para representar la variabilidad de una cuenca en los modelos agrupados. Los modelos semidistribuidos pueden construirse tomando en cuenta la división de una cuenca en subcuencas y zonificarlas en términos de elevación. Un ejemplo de estos modelos es el GSM-SOCONT implementado en la cuenca vertiente superior del Ródano en los Cantones del Vaud y de Valais en suiza a fines del 2006, con el objetivo de monitorear y pronosticar crecidas (García, 2011). La cuenca se divide en 239 subcuencas, divididas a su vez en un total de 1050 bandas de altitud cada 500 m.

Por otro lado, en el país se han adecuado modelos de este corte en las cuencas de la costa como el Rímac, Chillón, Lurín, Chancay Huaral; con buenos resultados, e.g. Astorayme et al. (2015, 2016a,b).

2.2. Indicadores estadísticos de eficiencia

Para evaluar el desempeño de un modelo hidrológico, se describe en la literatura el uso de diferentes indicadores estadísticos de eficiencia. Siendo los más citados el coeficiente de Nash- Sutcliffe, coeficiente de correlación de Pearson (r), la raíz relativa del error cuadrático medio (RRMSE), entre otros.

En la presente tesis se empleó 05 indicadores estadísticos de eficiencia (Tabla 2.2) para evaluar el comportamiento de las series simuladas por los modelos propuestos, a saber: Coeficiente de Nash-Sutcliffe, citado en numerosos artículos científicos, e.g. Ajami et al. (2004); Astorayme et al. (2015); García (2011); Jordan (2007); Viviroli et al. (2009); el coeficiente de Nash logarítmico (Nash-In), la cual es una variante de la primera (Krause et al., 2005). Otros indicadores son el coeficiente de Pearson (r), (Aghakouchak and Habib, 2010) y la raíz del error medio cuadrático relativo (de siglas en inglés, RRMSE).

Por otro lado, se empleó también el indicador estadístico Volumen relativo del sesgo (con siglas en inglés: RVB), o también conocido como coeficiente de bias.

2.2.1. Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Es el más empleado y de uso extendido (Nash and Sutcliffe, 1970) para evaluar la predicción de las series simuladas en modelos hidrológicos.

Tabla 2.1: Valores referenciales del Coeficiente de Nash-sutcliffe

| AJUSTE | Insuficiente | Satisfactorio | Bueno | Muy Bueno | Excelente |
|--------|--------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Nash | <0.2 | 0.2 – 0.4 | 0.4 – 0.6 | 0.6 – 0.8 | >0.8 |

Fuente: Molnar (2011)

En la tabla 2.1 se tiene un rango propuesto por Molnar (2011) el cual califica a

un modelo según el coeficiente de Nash- Sutcliffe obtenido. Así, se tiene que para un coeficiente de Nash mayor a 0.6 se considera que la eficiencia de un modelo es muy bueno y para valores mayores a 0.8 es excelente.

El coeficiente de Nash toma valores en un rango de $-\infty$ a 1 siendo el valor óptimo la unidad, dando énfasis a la evaluación de los caudales en periodos de avenida.

2.2.2. Coeficiente de Nash para valores logarítmicos

Es una variante del coeficiente de Nash-Sutcliffe, dando énfasis a la evaluación de los caudales en periodos de estiaje [Krause et al. \(2005\)](#). El coeficiente de Nash-In puede tomar valores desde $-\infty$ hasta 1, siendo 1 el valor óptimo.

2.2.3. Coeficiente de correlación de Pearson (r)

El coeficiente de Pearson (r), es un indicador estadístico que permite evaluar cuanto explica una variable respecto de otra ([Aghakouchak and Habib, 2010](#)). El r puede tomar valores de -1 a 1 , siendo 1 el mejor valor.

2.2.4. Raíz del error medio cuadrático relativo (RRMSE)

El RRMSE cuantifica el error relativo que existe entre un variable u otra, y puede tomar valores de 0 a más, siendo los valores más bajos los que indican menores errores ([Feyen et al., 2000](#)).

2.2.5. Volumen relativo del sesgo (RVB)

El RVB, e.g. [Ajami et al. \(2004\)](#), puede tomar valores de entre $-\infty$ a $+\infty$ siendo negativo al subestimar y positivo al sobreestimar la serie observada.

Tabla 2.2: Indicadores estadísticos de eficiencia

| Estadísticos | Formulación | Rangos | Valor ideal |
|--|---|----------------------|-------------|
| Coeficiente de Nash Sutcliffe | $Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_{ref_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{ref_i} - \bar{Q}_{ref})^2}$ | $-\infty$ a 1 | 1 |
| Coeficiente de Nash-logaritmo | $Nash - ln = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_{sim_i}) - \ln(Q_{ref_i}))^2}{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_{ref_i}) - \ln(\bar{Q}_{ref}))^2}$ | $-\infty$ a 1 | 1 |
| Coeficiente de correlación de Pearson | $R = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim}) \cdot (Q_{ref_i} - \bar{Q}_{ref})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{ref_i} - \bar{Q}_{ref})^2}}$ | -1 a 1 | 1 |
| Raíz relativa del error medio cuadrático | $RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_{sim} - Q_{obs_i})^2}{n}} / \bar{Q}_{ref}$ | 0 a ∞ | 0 |
| Volumen relativo del sesgo | $RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_{sim} - Q_{obs_i})^2}{n}} / \bar{Q}_{ref}$ | $-\infty$ a ∞ | 0 |

Fuente: [García et al. \(2016\)](#)

2.3. modelos lluvia-escorrentía

Para el modelamiento hidrológico en la cuenca del río Chillón se usaron cuatro modelos lluvia-escorrentía, los cuales se encuentran implementados en la plataforma computacional RS MINERVE. A continuación se expone la descripción, ecuaciones, parámetros y fundamento teórico de los modelos lluvia-escorrentía propuestos en la presente tesis.

Para mayor información acerca de los mismos y de otros modelos hidrológicos se recomienda dar lectura a la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM, 2011) y a la guía técnica provisto por el CREALP (García et al., 2016).

2.3.1. Modelo hidrológico GR4J

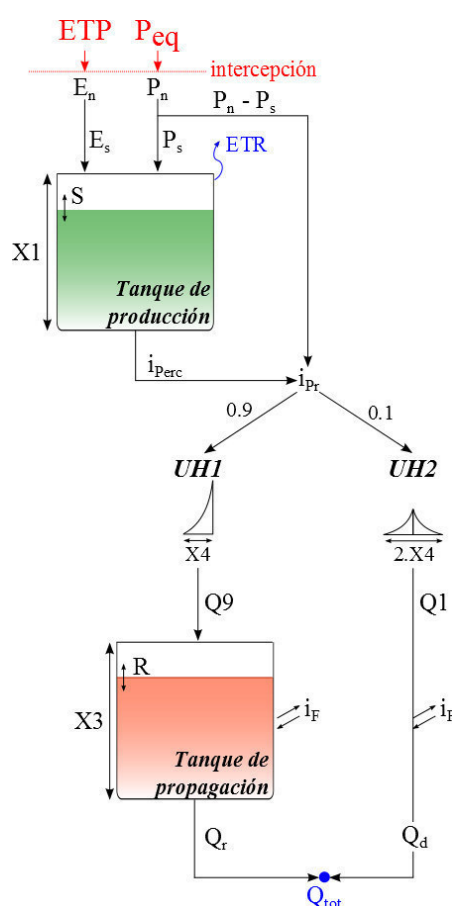


Figura 2.4: Estructura del modelo GR4J

Fuente: García et al. (2016)

2.3.1.1. Descripción general del modelo GR4J

El modelo hidrológico lluvia-escorrentía GR4J (Géne Rural à 4 paramètres Journalier) está constituido como un modelo determinístico, conceptual y de tipo agrupado, aunque

es considerado por algunos hidrólogos como un modelo de corte empírico debido a simplificación de sus ecuaciones. El modelo fue desarrollado en Francia por Perrin et al. (2003).

El modelo GR4J que con tan solo 4 parámetros logra una adecuada representación de las descargas medias diarias, requiere de información de precipitación y evapotranspiración media diaria. Este modelo es una versión modificada del modelo GR3J originalmente propuesto por Edijatno and Michel (1989), el cual más tarde fue mejorado (Edijatno et al., 1999), Edijatno evaluó el modelo en 140 cuencas en Francia. El esquema del modelo GR4J (Figura 2.4) cuenta con dos reservorios cuya función es almacenar la precipitación neta, y son en donde ocurren los fenómenos de percolación e infiltración.

El modelo trabaja con dos reservorios (Figura 2.4) el primero de ellos (color verde) relaciona la evapotranspiración y la precipitación proporcionando el volumen de lluvia precipitada neta. La altura de este reservorio está definida por el primer parámetro X_1 , el cual varía con cada iteración tomando un valor máximo de altura S . Las salidas de este reservorio la constituyen un volumen percolado y de lluvia directa, la suma de estas salidas son divididas en 0.9 y 0.1, e ingresados luego a dos hidrogramas unitarios ($UH1$ y $UH2$). Cabe resaltar, que el tiempo base de los UH está en función del parámetro X_4 . La salida del $UH1$ es depositada a un segundo reservorio, el cual está relacionado por el parámetro X_3 , tomando valores máximos de altura R para cada iteración.

El segundo reservorio, reservorio naranja (Figura 2.4), representa los procesos de infiltración en la cuenca, los cuales están matemáticamente relacionados con el parámetro X_2 . Por otro lado, la salida de $UH1$ es ajustado solo a un proceso de infiltración, siendo el valor del parámetro X_2 positivo cuando se pierde parte de la lluvia por infiltración y negativo cuando existe un proceso de transferencia de agua hacia la cuenca. Finalmente, ambos caudales confluyen para formar la salida del modelo.

2.3.1.2. Formulación matemática

El modelo relaciona la evapotranspiración y la precipitación proporcionando el volumen de lluvia precipitada neta (Ecs. 2.1 y 2.2). La operación es calculada como si la capacidad de interceptación fuera cero.

$$Si : P_{eq} \geq ETP, \longrightarrow P_n = P_{eq} - ETP \quad 2.1$$

$$Si : P_{eq} \leq ETP, \longrightarrow E_n = ETP - P_{eq} \quad 2.2$$

Donde: P_n : Precipitación neta $[L/T]$, P_{eq} : Precipitación equivalente $[L/T]$, ETP : Evapotranspiración $[L/T]$, y E_n : Evapotranspiración neta $[L/T]$

Cuando P_n no es cero una parte (P_s) de P_n alimenta al primer reservorio (Ec. 2.3),

Similarmente cuando la evapotranspiración neta (E_n) no es cero una evapotranspiración (E_s) es calculada en el primer reservorio la cual es descrita por la [Ec. 2.4](#).

$$P_s = \frac{d}{dt} \frac{X_1 \left(1 - \left(\frac{S}{X_1} \right)^2 \right) \tanh \left(\frac{P_n dt}{X_1} \right)}{1 + \left(\frac{S}{X_1} \right) \tanh \left(\frac{P_n dt}{X_1} \right)} \quad 2.3$$

$$E_s = \frac{d}{dt} \frac{S \left(2 - \left(\frac{S}{X_1} \right) \right) \tanh \left(\frac{P_n dt}{X_1} \right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X_1} \right) \tanh \left(\frac{E_n dt}{X_1} \right)} \quad 2.4$$

Donde: P_s : Intensidad de lluvia que alimenta al primer reservorio [L/T], X_1 : Capacidad máxima del primer reservorio [L], S : Contenido de agua en el primer reservorio [L], y E_s : Evapotranspiración producida en el primer reservorio [L/T]

De esta manera se determina la Precipitación neta (P_n) en el primer reservorio en donde la altura de este reservorio está definida por el primer parámetro X_1 , el cual varía con cada iteración tomando un valor de S para cada iteración. Las salidas del primer reservorio están constituidas por un volumen percolado ($iPerc$, [Ec. 2.5](#))

$$iPerc = \frac{d}{dt} (S + (P_s - E_s) dt) \left(1 - \left(1 + \left(\frac{4(S + (P_s - E_s) dt)}{9 X_1} \right)^4 \right)^{1/4} \right) \quad 2.5$$

$$iPr = iPerc + (P_n - P_s) \quad 2.6$$

Donde: $iPerc$: Intensidad de percolación [L/T] y iPr : Intensidad de flujo generado [L/T]

Para el cálculo de los hidrogramas unitarios el flujo iPr ([Ec. 2.6](#)) es dividido en dos componentes: 90 % es considerado para un hidrograma unitario $UH1$, cuya ordenada está definida por $SH1$ dependiente del tiempo ([Ecs. 2.7 y 2.9](#)), el cual se almacenará en el primer reservorio; 10 % considerado para un hidrograma unitario simétrico $UH2$, cuya ordenada está definida por $SH2$ ([Ecs. 2.8 y 2.10](#)). Ambos hidrogramas dependen del parámetro X_4 (ver [Tabla 2.3](#)) el cual relaciona la base del tiempo de estos.

$$\begin{aligned} SH1_t &= 0, \text{ si } t \leq 0 \\ SH1_t &= \left(\frac{t}{X_4} \right)^{5/2}, \text{ si } 0 < t < X_4 \\ SH1_t &= 1, \text{ si } t \geq X_4 \end{aligned} \quad 2.7$$

$$\begin{aligned}
SH2_t &= 0, \text{ si } t \leq 0 \\
SH2_t &= \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4} \right)^{5/2}, \text{ si } 0 < t < X_4 \\
SH2_t &= 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X_4} \right)^{5/2}, \text{ si } X_4 < t < 2X_4 \\
SH2_t &= 1; , \text{ si } t \geq 2X_4
\end{aligned} \tag{2.8}$$

$$UH1_t = SH1_j - SH1_{j-1} \tag{2.9}$$

$$UH2_t = SH2_j - SH2_{j-1} \tag{2.10}$$

Donde: $SH1$: Hidrograma unitario 1 [–], $SH2$: Hidrograma unitario 2 [–], t : Paso de tiempo [T], $X - 4$: Base de tiempo [T], $UH1$: Hidrograma unitario desde $SH1$, y $UH2$: Hidrograma unitario desde $SH2$ [–].

Por lo tanto, las salidas de los hidrogramas están representados por las descargas unitarias de Q_9 (Ec. 2.11) y Q_1 (Ec. 2.12):

$$Q_9 = 0.9 \sum_{j=1}^l (UH1_j \cdot iPr_{k-j-l}) \tag{2.11}$$

$$Q_1 = 0.1 \sum_{j=1}^m (UH2_j \cdot iPr_{k-j-l}) \tag{2.12}$$

Donde: Q_9 : Flujo unitario de la salida del $UH1$ [L/T], Q_1 : Flujo unitario de la salida del $UH2$ [L/T], j : Día [T], l : Valor entero de $X_4 + 1$, y m : Valor entero de $X_4 + 1$

El aporte de agua subterránea está restringida por la función de cambio (iF) el cual relaciona al parámetro X_3 , representada por la Ec. 2.13. El flujo unitario Q_9 es depositado a un segundo reservorio (Routing reservorio, Figura 2.4) cuya nivel máximo de agua está representado por el parámetro X_3 siendo R la altura de agua para cada paso de tiempo.

La salida del segundo reservorio esta denotado por Q'_r (Ec. 2.14) el cual además de estar relacionada con las variables mencionadas relaciona la función de cambio iF . Por otro lado, el flujo unitario Q_1 es afectado solo por la función de cambio iF , entregando un flujo unitario Q'_d como muestra la Ec. 2.15.

$$iF = \frac{d}{dt} X_2 \left(\frac{R}{X_3} \right)^{\frac{7}{2}} \tag{2.13}$$

$$Q'_r = \frac{d}{dt} (R + (Q_9 + iF) dt) \left(1 - \left(1 + \left(\frac{R + (Q_9 + iF) dt}{X_3} \right)^4 \right)^{-\frac{1}{4}} \right) \quad 2.14$$

$$Q'_d = Q_1 + iF \quad 2.15$$

Donde: Q'_r : Flujo unitario del Routing reservoir [L/T], X_2 : Coeficiente de intercambio, positivo para contribuir y negativo para perder [L], R : Nivel máximo del Routing reservoir [L], y X_3 : capacidad del reservorio [L]

Finalmente, la salida del modelo es representada por la suma de los flujos Q_r y Q_d como muestra las Ecs. 2.16 y 2.17, cabe resaltar que ambos flujos son obtenidos a partir del producto de los flujos unitarios Q'_r y Q'_d siendo Q_{tot} la suma de estos (Ec. 2.18).

$$Q_r = Q'_r A \quad 2.16$$

$$Q_d = Q'_d A \quad 2.17$$

$$Q_{tot} = Q - r + Q_d \quad 2.18$$

Donde: Q_r : Flujo proveniente del segundo reservorio (Routing reservoir) [L^3/T], Q_d : Flujo complementario [L^3/T], A : Área de la cuenca [L^2] y Q_{tot} : Flujo total [L^3/T]

2.3.1.3. Parámetros del modelo GR4J

El modelo presenta 4 parámetros (Tabla 2.3) los cuales deben ser ajustados para obtener una simulación correcta requiriendo de 2 valores iniciales (Tabla 2.4) para el inicio de su operación. En la tabla 2.3 se muestran los rangos regulares que pueden tomar estos parámetros. Sin embargo, estos son referenciales y dados por Perrin et al. (2003).

Tabla 2.3: Rangos y parámetros del modelo GR4J

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Rango |
|--------|-------|--------|--|---------------|
| GR4J | A | m^2 | Área | >0 |
| | X_1 | m | Capacidad del primer reservorio | 0.1 a 1.2 |
| | X_2 | m | Coeficiente de intercambio de agua | -0.005 a 0.03 |
| | X_3 | m | Capacidad del segundo reservorio | 0.02 a 0.3 |
| | X_4 | d | Tiempo base de los hidrogramas unitarios | 1.1 a 1.9 |

Fuente: Perrin et al. (2003)

Tabla 2.4: Valores iniciales del modelo GR4J

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Valor inicial |
|--------|-------|--------|--|---------------|
| GR4J | R | m | Nivel inicial de agua en el reservorio de producción | -- |
| | S | m | Altura del segundo reservorio | -- |

Fuente: Perrin et al. (2003)

2.3.2. Modelo hidrológico SOCONT

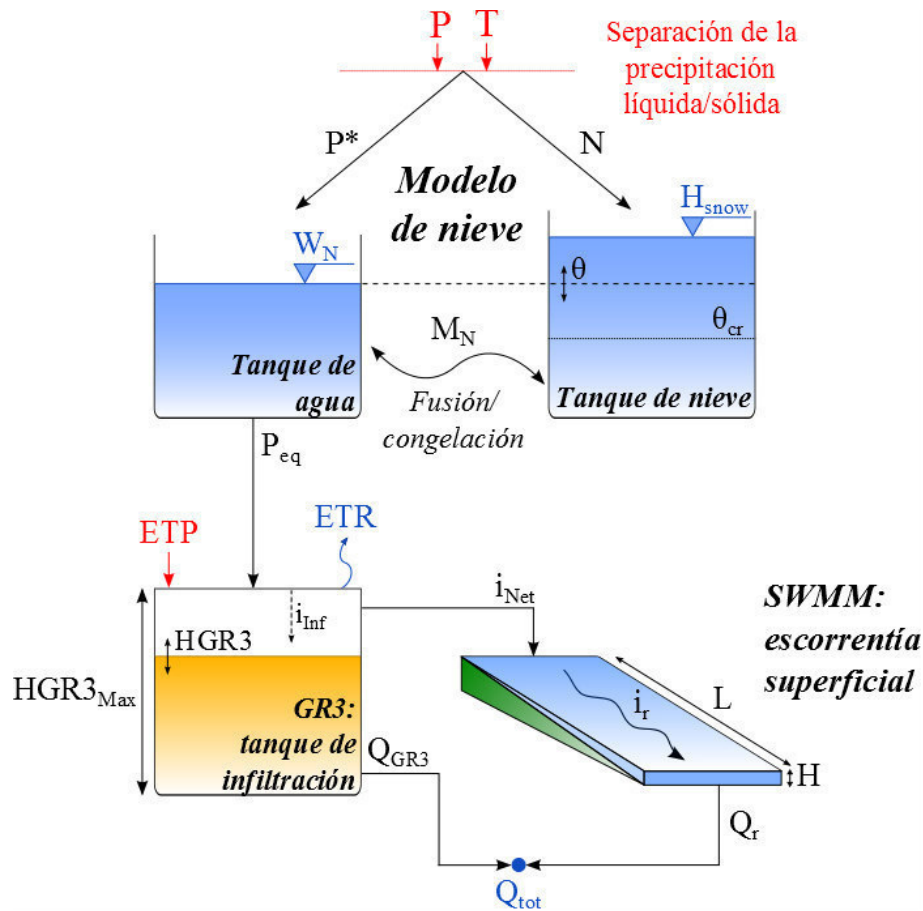


Figura 2.5: Estructura del modelo SOCONT

Fuente: [García et al. \(2016\)](#)

2.3.2.1. Descripción general del modelo SOCONT

El modelo SOCONT (Soil Contribution) el cual corresponde a la Snow-GSM, simula la evolución transitoria del snow pack (derretimiento acumulado) como una función de temperatura (T) y la precipitación (P_{eq}). Además, contiene al modelo GR3 el cual usa la precipitación producida por el *tanque de nieve* y la evapotranspiración para entregar una parte de la escorrentía y la intensidad neta al submodelo SWMM (Storm Water Management Model, [Figura 2.5](#)).

El modelo fue desarrollado por [Consuegra and Vez \(1996\)](#), este presenta una estructura similar a los modelos GR ([Edijatno and Michel, 1989](#)). En general se puede mencionar que el modelo SOCONT presenta tres reservorios, un reservorio lineal para la contribución del suelo, un reservorio no lineal que representa el agua subterránea y un reservorio no lineal para la escorrentía directa.

2.3.2.2. Formulación matemática

Como primer paso la precipitación, (variable de ingreso al modelo), es dividida en una precipitación sólida (N) y una precipitación líquida (P^*) (Ecs. 2.19 y 2.20), siendo P^* una función de la temperatura establecida por α como muestra la Ec. 2.21.

$$P^* = (\alpha) P \quad 2.19$$

$$N = (1 - \alpha) P \quad 2.20$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 0, \quad \text{si } T < T_{cp1} \\ \alpha &= (T - T_{cp1}) (T_{cp2} - T_{cp1}), \quad \text{si } T_{cp1} < T < T_{cp2} \\ \alpha &= 1, \quad \text{si } T > T_{cp2} \end{aligned} \quad 2.21$$

Donde: P^* : Precipitación líquida [L], α : Factor de separación [—], N : Precipitación sólida [L], P : Precipitación [L], T : Temperatura [°C], T_{cp1} : Temperatura mínima crítica para la precipitación líquida [°C], T_{cp2} : Temperatura máxima crítica para la precipitación sólida [°C], y T_{cf} : Temperatura crítica para el derretimiento de la precipitación sólida [°C].

Si la temperatura observada es más baja que T_{cp1} solo se produce precipitación sólida. Si la temperatura es más alta que la T_{cp2} solo se produce precipitación líquida. Por otro lado, si la temperatura observada esta entre estos dos valores críticos el modelo trabajará con ambas precipitaciones, líquida y sólida, (Ec. 2.21).

La precipitación sólida (N) es la variable de entrada para el reservorio *tanque de nieve*, el volumen de este reservorio es una función del derretimiento o la congelación de la lluvia en él, dada por el coeficiente A'_{sn} que a su vez depende, entre otros, del parámetro del modelo A_{sn} (Ec. 2.22).

El cálculo del deshielo o congelamiento es realizado por las Ecs. 2.23 y 2.24.

$$A'_{sn} = A_{sn} + \frac{A_{sn}Int}{2} \sin(2\pi \frac{n - A_{sn}Int}{365}) \quad 2.22$$

$$\begin{aligned} M_N &= A'_{sn} (1 + b_p P^*) (T - T_{cf}), \quad \text{si } T > T_{cf} \\ M_N &= A'_{sn} (T - T_{cf}), \quad \text{si } T \leq T_{cf} \end{aligned} \quad 2.23$$

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dt} &= N - M_N \\ M_N &\leq N + H/dt \\ M_N &\geq -W_N/dt \end{aligned} \quad 2.24$$

Donde: M_N : Deshielo o congelación [L/T], A_{sn} : Coeficiente de derretimiento [$-$], b_p : Coeficiente de derretimiento debido a la precipitación líquida [L/T], T_{cf} : Temperatura critica para el derretimiento de la precipitación sólida [$^{\circ}C$], H : Altura de nieve [L], W_N : Contenido de agua [L], T_{cp1} : Temperatura mínima critica para la precipitación líquida [$^{\circ}C$], T_{cp2} : Temperatura máxima critica para la precipitación sólida [$^{\circ}C$], y dt : Paso de tiempo [T].

Por otro lado, el reservorio *Tanque de agua* (ver [Figura 2.5](#)), recibe el contenido de agua del *tanque de nieve*, definida por una altura de agua θ ([Ec. 2.25](#)), produciendo la precipitación equivalente (P_{eq}).

Al respecto la P_{eq} , además de ser función de θ , es función de a altura W_N del *tanque de agua* como muestra las [Ecs. 2.26](#) y [2.27](#).

$$\theta = W_N/dt \quad 2.25$$

$$\begin{aligned} P_{eq} &= P^* + W_N/dt, \quad si \ H = 0 \\ P_{eq} &= 0, \quad si \ H > 0 \ y \ \theta \leq \theta_{cr} \\ P_{eq} &= \left(\theta - \theta_{cr} \frac{H}{dt} \right), \quad si \ H > 0 \ y \ \theta > \theta_{cr} \end{aligned} \quad 2.26$$

$$dW_N/dt = P^* + M_N + P_{eq} \quad 2.27$$

Donde: θ : Contenido relativo de agua en la snow pack [$-$], θ_{cr} : Contenido critico relativo de agua en la *snow pack* [$-$] y P_{eq} : Coeficiente de derretimiento [$-$].

Consecuentemente, parte de la P_{eq} producida por el reservorio *tanque de agua* es depositada al *tanque de infiltración* (ver [Figura 2.5](#)), definida por como intensidad de infiltración i_{nf} ([Ec. 2.28](#)). Además, los procesos de evapotranspiración ([Ec. 2.29](#)) son producidos en este reservorio.

La salida del *tanque de infiltración* es definida por una intensidad neta (i_{Net}) y un caudal base (Q_{GR3}), como muestran la [Ecs. 2.30](#) y [2.31](#). Es importante notar que el nivel de agua en este reservorio (H_{GR3}) es función del tiempo ([Ec. 2.32](#)).

$$\begin{aligned} i_{nf} &= P_{eq} \left(1 - (H_{GR3}/H_{GR3max})^2 \right), \quad si \ H_{GR3} \leq H_{GR3max} \\ i_{nf} &= 0, \quad si \ H_{GR3} > H_{GR3max} \end{aligned} \quad 2.28$$

$$\begin{aligned} ETR &= ETP \sqrt{H_{GR3}/H_{GR3max}}, \quad si \ H_{GR3} \leq H_{GR3max} \\ ETR &= ETP, \quad si \ H_{GR3} > H_{GR3max} \end{aligned} \quad 2.29$$

$$i_{Net} = P_{eq} - i_{inf} \quad 2.30$$

$$\begin{aligned} Q_{GR3} &= K_{GR3} H_{GR3} A, \quad \text{si } H \leq H_{GR3max} \\ Q_{GR3} &= K_{GR3} H_{GR3max} A, \quad \text{si } H_{GR3} > H_{GR3max} \end{aligned} \quad 2.31$$

$$dH_{GR3}/dt = i_{Net} - ETR - Q_{GR3}/A \quad 2.32$$

Donde: H_{GR3} : Altura del reservorio de infiltración [L], i_{inf} : Intensidad de infiltración [L/T], k_{GR3} : coeficiente de liberación [T^{-1}], Q_{GR3} : Caudal base [L^3T^{-1}], y A : Área de infiltración [L^2].

La intensidad neta i_{Met} es transferida al submodelo *Storm Water Management Model* (SWMM) el cual consiste en una superficie impermeable, que permite simular el transito de la escorrentía. La intensidad de escurrimiento (i_r) efectivo por esta superficie es definida por la Ec. 2.34, siendo la altura de agua promedio en esta superficie dependiente del tiempo (Ec. 2.33).

El caudal producto del escurrimiento por unidad de longitud de la (i_r) es calculada al multiplicar esta por el área de infiltración de la cuenca (A), como muestra la Ec. 2.35.

$$dH/dt = 2 (i_{Net} - i_r) H_r \geq 0 \quad 2.33$$

$$i_r = K \sqrt{J_0} H^{5/3} L \quad 2.34$$

$$Q_r = i_r A \quad 2.35$$

Donde: H : Altura de la escorrentía aguas debajo de la superficie [L], i_{Net} : Intensidad neta [L/T], i_r : Intensidad de la escorrentía [L/T], K : Coeficiente de Strickler J_0 : Altura promedio del plano [L], L : Longitud del plano [L], y A : Superficie de la escorrentía [L^2].

Finalmente, la descarga total del modelo es compuesta por la descarga base (Q_{GR3}), producto del *tanque de infiltración* (ver Tabla 2.5), y la descarga Q_r proveniente de la SWMM (Ec. 2.36).

$$Q_{tot} = (Q_{GR3}) + Q_r \quad 2.36$$

Donde: Q_{tot} : Descarga total del modelo SOCONT [L^3/T], Q_{GR3} : Descarga parcial proveniente del submodelo GR3 [L^3/T], y Q_r : Descarga parcial proveniente del submodelo SWMM [L^3/T].

2.3.2.3. Parámetros del modelo SOCONT

El modelo presenta 11 parámetros (Tabla 2.5) siendo An , $HGR3_{Max}$, $KGR3$, L , J_0 los parámetros preponderantes, pues representan las características geométricas del esquema (Figura 2.5). Además, requiere de 4 variables iniciales (Tabla 2.6) para su ejecución.

Tabla 2.5: Rangos y parámetros del modelo SOCONT

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Rango |
|--------|--------------|-------------------|--|---------------|
| SOCONT | A | m^2 | Área de infiltración | >0 |
| | An | $mm/^\circ C/dia$ | Coefficiente de deshielo | 0.5 a 20 |
| | $ThetaCri$ | - | Contenido crítico de agua en la nieve acumulada | 0.1 |
| | bp | s/m | Coefficiente de derretimiento debido a la precipitación líquida | 0.0125 |
| | T_{cp1} | $^\circ C$ | Temperatura mínima para la precipitación líquida | 0 |
| | T_{cp2} | $^\circ C$ | Temperatura mínima para la precipitación sólida | 6 |
| | T_{cf} | $^\circ C$ | Temperatura crítica para el derretimiento de la precipitación sólida | 0 |
| | $HGR3_{Max}$ | m | Altura máxima del reservorio de infiltración | 0 a 2 |
| | $KGR3$ | $1/s$ | Coefficiente de liberación del reservorio de infiltración | 0.00025 a 0.1 |
| | L | m | Ancho del plano | >0 |
| | J_0 | - | Pendiente de la escorrentía | >0 |

Fuente: García et al. (2016)

Tabla 2.6: Parámetros iniciales del modelo SOCONT

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Valor inicial |
|--------|---------------|--------|---|---------------|
| SOCONT | $Hsnow_{Ini}$ | mm | Altura inicial de nieve | 0.0125 |
| | $Theta_{Ini}$ | - | Nivel inicial del reservorio de infiltración | 0 |
| | $HGR3_{Ini}$ | mm | Nivel inicial de la escorrentía aguas abajo del plano | 6 |
| | Hr_{Ini} | mm | Nivel inicial de agua en módulo de nieve | 0 |

Fuente: García et al. (2016)

2.3.3. Modelo hidrológico HBV

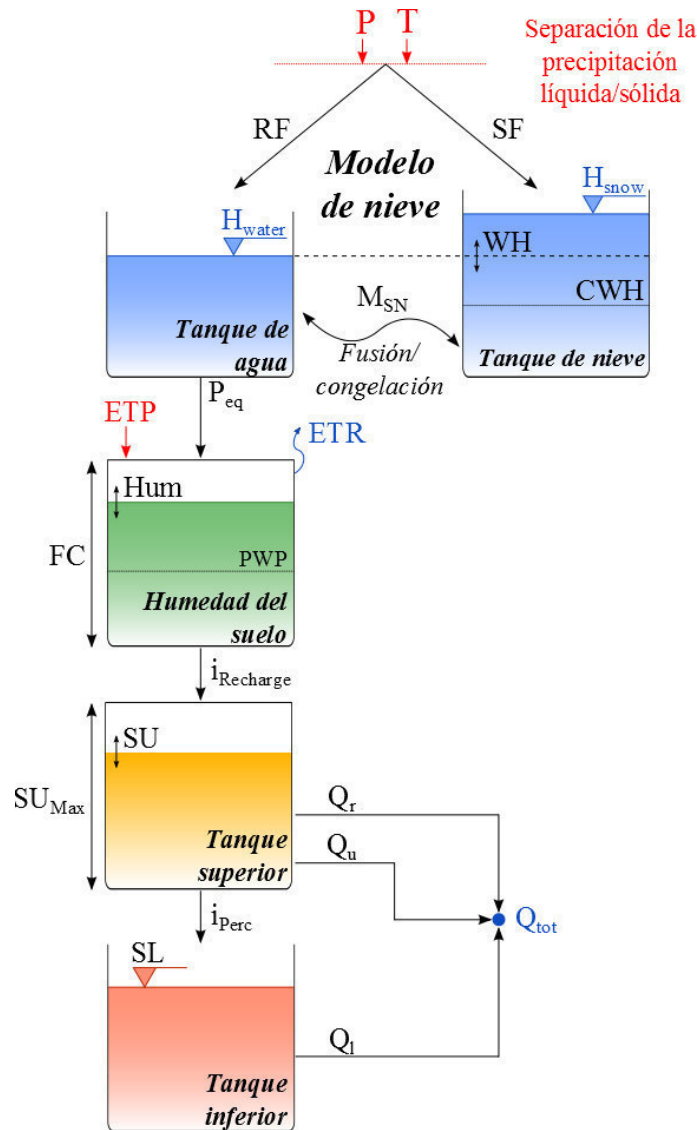


Figura 2.6: Estructura del modelo HBV

Fuente: [García et al. \(2016\)](#)

2.3.3.1. Descripción general del modelo HBV

El modelo lluvia-escorrentía HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) es un modelo determinístico conceptual desarrollado por [Bergström \(1992\)](#) en el instituto de meteorología de Suecia. El modelo estima la escorrentía en una cuenca a partir de datos de precipitación, temperatura y estimación de evapotranspiración a paso diario ([Figura 2.6](#)). HBV es usado para la predicción repentina de crecidas en el norte de Austria.

El modelo está representado por diversas rutinas como el derretimiento de nieve, humedad y evapotranspiración así como el agua subterrena, estas son descritas por tres

reservorios configurados por ecuaciones lineales y por una función triangular (Seibert, 1997). El modelo ha tenido aplicaciones como el diseño de aliviaderos (Lindström and Harlin, 1992), la evaluación de recursos hídricos, las estimaciones de carga de nutrientes (OMM, 2011).

2.3.3.2. Formulación matemática

La precipitación es dividida, al igual que el modelo anterior en lluvia sólida (SF) y lluvia líquida (RF), como una función de la temperatura (Ecs. 2.37 y 2.38). Si la temperatura es más baja que $\frac{TT-TT_{Int}}{2}$, solo se producirá lluvia sólida y al inverso cuando la temperatura es más alta que $\frac{TT+TT_{Int}}{2}$, solo se producirá lluvia líquida. Si la temperatura se encuentra entre estos dos valores entonces se producirá lluvia en ambas fases, sólida y líquida, como muestra la Ec. 2.39.

$$RF = \alpha P \quad 2.37$$

$$SF = (1 - \alpha) P \quad 2.38$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 0 \text{ si } T \geq \frac{TT+TT_{Int}}{2}, \quad \text{si } T < \frac{TT-TT_{Int}}{2} \\ \alpha &= \frac{T - (TT - \frac{TT_{Int}}{2})}{TT_{Int}}, \quad \text{si } T < \frac{TT-TT_{Int}}{2} < T < \frac{TT+TT_{Int}}{2} \\ \alpha &= 1, \quad \text{si } T > \frac{TT+TT_{Int}}{2} \end{aligned} \quad 2.39$$

Donde: RF : Lluvia líquida [L], α : Factor de separación [-], P : Precipitación [L], SF : Lluvia sólida [L], T : Temperatura [$^{\circ}C$], TT : Umbral de temperatura para lluvia/nieve [$^{\circ}C$], y TT_{Int} : Intervalo para lluvia/nieve mixta [$^{\circ}C$]

La lluvia sólida ingresa al reservorio llamado *tanque de nieve*, su contenido es una función del derretimiento o congelación de esta. El derretimiento de nieve es determinado por las Ecs. 2.40 y 2.41.

$$\begin{aligned} M_{sn} &= CF_{Max} (T - TT_{SM}), \quad \text{si } T > TT_{SM} \\ M_{sn} &= C_{FR} CF_{Max} (T - TT_{SM}), \quad \text{si } T \leq TT_{SM} \end{aligned} \quad 2.40$$

$$\begin{aligned} dH/dt &= SF - M_{sn} \\ M_{sn} &\leq SF + H_{snow}/dt \\ M_{sn} &\geq -H_{water}/dt \end{aligned} \quad 2.41$$

Donde: M_{sn} : Derretimiento o congelamiento [$T/T/^{\circ}C$], CF_{Max} : Factor de derretimiento grado-día [$T/T/^{\circ}C$], C_{FR} : Factor de recolección [-], TT_{SM} : Temperatura

critica de derretimiento [$^{\circ}C$], H_{snow} : Altura de nieve [L], H_{water} : Contenido de agua [L], y dt : Paso de tiempo [T].

La precipitación equivalente (P_{eq}) es producida por el contenido de nieve (Ecs. 2.42 a 2.44).

$$WH = H_{water}/H_{snow} \quad 2.42$$

$$\begin{aligned} P_{eq} &= RF + H_{water}/dt, \quad si \ H_{snow} = 0 \\ P_{eq} &= 0, \quad si \ H_{snow} > 0 \quad y \quad WH \leq C_{WH} \\ P_{eq} &= (WH - C_{WH}) H_{snow}/dt, \quad si \ H_{snow} > 0 \quad y \quad WH > C_{WH} \end{aligned} \quad 2.43$$

$$dH_{water}/dt = RF + M_{sn} - P_{eq} \quad 2.44$$

Donde: WH : Contenido relativo de agua en el reservorio Snow Pack $[-]$, C_{WH} : Contenido crítico de agua en el snow pack $[-]$, H_{snow} : Altura de nieve [L], y P_{eq} : Precipitación equivalente [L].

La recarga ($i_{Recharge}$) está definida por el parámetro $Beta$ de la Ec. 2.45. La ETR es determinado por la Ecs. 2.46 y 2.47, y la humedad de la tierra (Hum) es determinada como una variación entre la variable de entrada la precipitación equivalente (P_{eq}) y las salidas ($i_{Recharge}$ y ETR).

$$i_{Recharge} = \left(\frac{Hum}{FC} \right)^{Beta} P_{eq} \quad 2.45$$

$$\begin{aligned} ETR &= ETP \frac{Hum}{PWP}, \quad si \ Hum < PWP \\ ETR &= ETP, \quad si \ Hum \geq PWP \end{aligned} \quad 2.46$$

$$dHum/dt = (P_{eq} - i_{Recharge}) - ETR \quad 2.47$$

Donde: $i_{Recharge}$: Intensidad de recarga de los reservorios [L/T], Hum : Humedad [L], FC : Máxima capacidad de almacenamiento del suelo [L], $Beta$: Contenido de agua $[-]$, P_{eq} : Precipitación equivalente [L/T], ETR : Evapotranspiración [L/T], ETP : Evapotranspiración Potencial [L/T], y PWP : Evapotranspiración Potencial [L/T].

La escorrentía superficial cercana (Q_r) es calculada dependiendo del nivel de agua (SU) en el reservorio *tanque superior*, (ver Figura 2.6), esta solo se produce si existe desborde, además la escorrentía producida Q_r es castigada por el coeficiente de almacenamiento del flujo superficial (K_r), como muestra la Ec. 2.48.

$$\begin{aligned} Q_r &= K_r (SU - SU_{Max}) A, \quad \text{si } SU > SU_{Max} \\ Q_r &= 0, \quad \text{si } SU \leq SU_{Max} \end{aligned} \quad 2.48$$

Donde: Q_r : Escorrentía superficial cercana [L^3/T], K_r : Coeficiente de almacenamiento del flujo superficial [T^{-1}], SU : Nivel de agua del Upper reservoir para cada paso de tiempo [L], SU_{Max} : Nivel máximo de agua para Upper reservoir [L], y A : Área de la cuenca [L^2].

El interflujo también es producido en el *tanque superior*, Ecs. 2.49 a 2.51.

$$\begin{aligned} dSU/dt &= i_{Recarga} - (K_{perc} + K_u) SU - Q_r/A \\ SU &\geq 0 \end{aligned} \quad 2.49$$

$$i_{Perc} = K_{perc} SU \quad 2.50$$

$$Q_u = K_u SU A \quad 2.51$$

Donde: Q_u : Interflujo [L^3/T], K_u : Coeficiente de almacenamiento del interflujo [$1/T$], K_{per} : Coeficiente de almacenamiento de percolación [$1/T$], i_{per} : Intensidad de percolación [$-$], y A : Área de la cuenca [L^2].

Luego el reservorio *tanque inferior* produce el flujo base (Q_l), este es calculado como muestran las Ecs. 2.52 y 2.53.

$$\begin{aligned} dSL/dt &= i_{perc} - K_l SL \\ SL &\geq 0 \end{aligned} \quad 2.52$$

$$Q_l = K_l (SL) A \quad 2.53$$

Finalmente la descarga total es la suma de estas tres salidas (Ec. 2.54):

$$Q_{tot} = Q_r + Q_u + Q_l \quad 2.54$$

Donde: Q_{tot} : Descarga total del modelo HBV [L^3/T], Q_r : Escorrentía superficial cercana [L^3/T], Q_u : Interflujo [L^3/T], y Q_l : Flujo base [L^3/T].

2.3.3.3. Parámetros del modelo HBV

El modelo presenta 14 parámetros los cuales deben ser ajustados para generar una correcta simulación de los caudales observados en la cuenca de estudio (Tabla 2.7). Además, el modelo requiere de 05 valores o parámetros iniciales para su ejecución (Tabla 2.8).

Tabla 2.7: Rangos y parámetros del modelo HBV

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Rango |
|--------|------------|-------------------|--|------------|
| HBV | A | m^2 | Área de la cuenca | >0 |
| | CF_{Max} | $mm/^\circ C/dia$ | Coeficiente de deshielo | 0.5 a 20 |
| | C_{FR} | - | Factor de congelación | 0.05 |
| | CWH | - | Contenido crítico de agua en el tanque de nieve | 0.1 |
| | TT | $^\circ C$ | Temperatura umbral de lluvia/nieve | 0 a 3 |
| | TT_{Int} | $^\circ C$ | Intervalo de temperatura para la mezcla lluvia/nieve | 0 a 3 |
| | TT_{SM} | $^\circ C$ | Temperatura umbral para el derretimiento de nieve | 1 a 5 |
| | $Beta$ | - | coeficiente forma | 50 a 650 |
| | FC | mm | Máxima capacidad de almacenamiento del suelo | 50 a 650 |
| | PWP | mm | Punto de marchitez permanente del suelo | 30 a 650 |
| | SU_{MAX} | mm | Nivel umbral de agua del Reservorio superior | 0 a 100 |
| | Kr | $1/d$ | Coeficiente de almacenamiento del flujo superficial | 0.05 a 0.5 |
| | Ku | $1/d$ | Coeficiente de almacenamiento del interflujo | 0.01 a 0.4 |
| | Kl | $1/d$ | Coeficiente de almacenamiento del flujo base | 0 a 0.15 |
| | K_{perc} | $1/d$ | Coeficiente de almacenamiento de percolación | 0 a 2 |

Fuente: García et al. (2016)

Tabla 2.8: Parámetros iniciales del modelo HBV

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Valor inicial |
|--------|------------------|--------|--|---------------|
| HBV | $H_{snow_{Ini}}$ | mm | Altura inicial de nieve | -- |
| | WH_{Ini} | $1/d$ | Nivel inicial de agua en módulo de nieve | -- |
| | Hum_{Ini} | $1/d$ | Humedad inicial | -- |
| | SU_{Ini} | $1/d$ | Nivel inicial del reservorio superior | -- |
| | SL_{Ini} | $1/d$ | Nivel inicial del reservorio inferior | -- |

Fuente: García et al. (2016)

2.3.4. Modelo hidrológico SAC-SMA

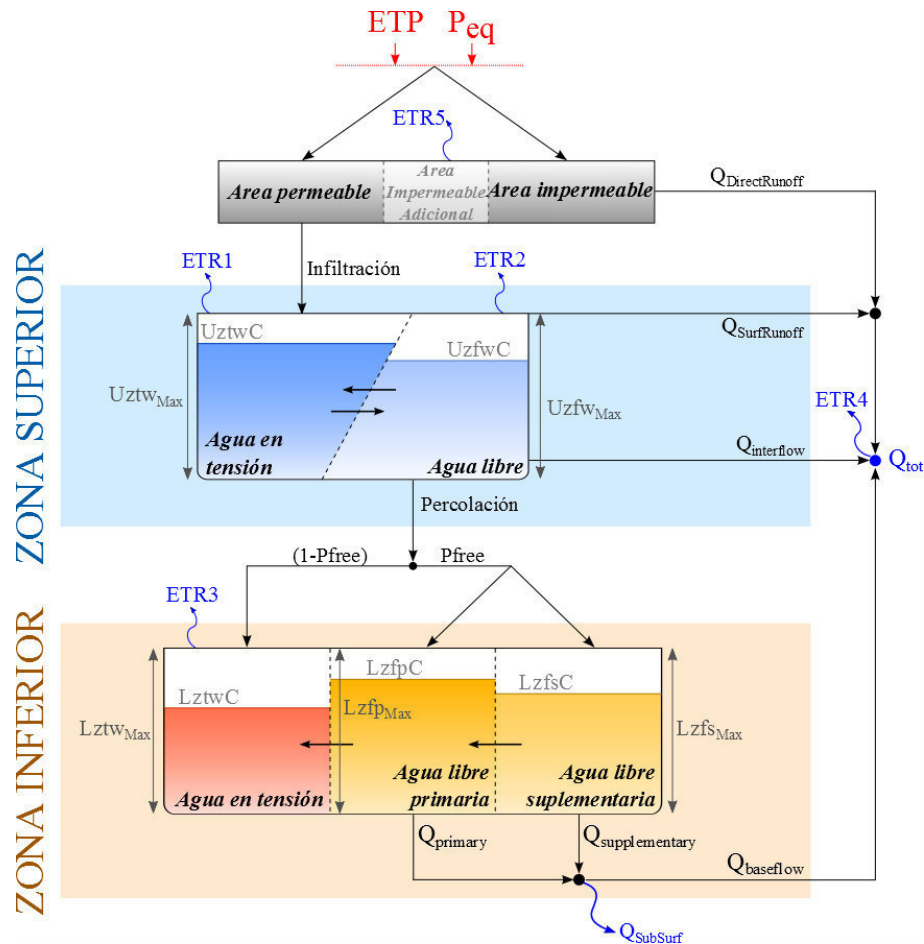


Figura 2.7: Estructura del modelo SAC-SMA

Fuente: [García et al. \(2016\)](#)

2.3.4.1. Descripción general del modelo SAC-SMA

El modelo lluvia-escorrentía Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA) está constituido como un modelo determinístico conceptual del tipo agrupado ([Burnash et al., 1973](#)). El modelo fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos, División Norte, conjuntamente con el personal del Centro de predicción Fluvial del Servicio de Meteorológico Nacional de Estados unidos y el Departamento de California de Recursos Hídricos, en Sacramento California.

SAC-SMA requiere información de precipitación y evapotranspiración media diaria para generar descargas del mismo paso de tiempo. El modelo, si bien es cierto, tiene una gran capacidad para simular las descargas medias diarias cuenta con 16 parámetros ([Tabla 2.9](#)) que deben ser calibrados, debido a que incorpora un algoritmo complejo para cuantificar las diversas componentes de la escorrentía, ([OMM, 2011](#)). Como consecuencia, requiere de un conocimiento profundo de la cuenca a simular, como

son la cobertura vegetal, áreas permeables e impermeables. Cabe resaltar, que a fines de los 90 Sacramento ha sido implementado en la cuenca del Río Rímac (Metzger et al., 2001), el modelo actualmente es administrado por el SENAMHI.

Sacramento está estructurado por tres reservorios complejos, el primero de ellos, (Figura 2.7), está dividida por *sectores permeables e impermeables*, en esta última se origina la escorrentía superficial, que se da cuando la lluvia supera la tasa de infiltración. El reservorio de color azul (Figura 2.7) representa la capa superior del suelo (denominada *zona superior*) en ella se origina el interflujo, esto puede entenderse como la transferencia agua lateral, al caudal base y solo se da cuando se satura la zona superior.

El tercer reservorio representa la *zona inferior* del suelo y está vinculado a los procesos de descarga con respuesta lenta. Por otro lado, Los procesos de evapotranspiración afectan a los tres reservorios y la salida de los tres reservorios conforman el caudal simulado por el modelo.

2.3.4.2. Formulación matemática

Parte de la precipitación equivalente que ingresa al modelo es transformada en escorrentía directa, esto es posible pues el modelo considera parte de la cuenca como un área impermeable. Siendo el parámetro P_{ctim} quien define la fracción del área de la cuenca que será impermeable y $Adimp$ el parámetro que permite definir un área impermeable extra. Luego se define el área permeable (Ec. 2.55).

$$P_{area} = 1 + (P_{ctim} + Adimp) \quad 2.55$$

Dónde: P_{area} : Fracción de área permeable permanente en la cuenca [–], P_{ctim} : Fracción de área permanente impermeable [–], y $Admin$: Máxima fracción adicional de área impermeable debido a la saturación [–].

La precipitación restante (que cae en el área permeable) es infiltrada al reservorio *Zona superior*, esta representa la parte superior del suelo y se divide en dos sectores; *agua en tensión* y *agua libre*. Así, se tiene el sector de la zona alta de *agua en tensión* que está representada por el agua por adhesión y la cohesión entre los poros del suelo, así como el agua interceptada por la vegetación. Además, el agua puede ser sólo consumida por la evapotranspiración.

La capacidad máxima admisible en este sector es representada por el parámetro $Uztw_{Max}$ (Ec. 2.56) siendo $UztwC$ la capacidad de este sector en cualquier intervalo de tiempo.

El sector de *agua en tensión* de la *zona superior* recibe la precipitación infiltrada por el área permeable. Cuando el sector de *agua en tensión* está lleno el exceso de agua

pasa al sector de *agua libre* en la zona superior (Ec. 2.57). Consecuentemente, cuando existe déficit de agua en el sector de *agua en tensión* esta toma agua del sector de *agua libre* (Ec. 2.58).

$$T = \frac{UztwC}{Uztw_{Max}} \quad 2.56$$

$$F = \frac{UzfwC}{Uzfw_{Max}} \quad 2.57$$

$$Uztr = d \left(\frac{UzfwC \cdot Uztw_{Max} - UztwC \cdot Uzfw_{Max}}{Uzfw_{Max} + uztw_{Max}} \right) / dt \quad 2.58$$

Dónde: T : Contenido relativo de agua en tensión en la Zona alta [—], F : Contenido relativo de agua libre en la Zona alta [—], $Uztr$: Infiltración transferida de la zona de agua libre a la zona de agua en tensión [L/T], $Uztw_{Max}$: Capacidad máxima del sector de agua en tensión en la zona alta [L], $UztwC$: Capacidad del sector de agua en tensión en la zona alta para cada cualquier intervalo de tiempo [L], $Uzfw_{Max}$: Capacidad máxima del sector de agua libre en la zona alta [L], y $UzfwC$: Capacidad del sector de agua libre en la zona alta para cada cualquier intervalo de tiempo [L].

El sector de *agua libre* representa el agua que no está adherida a las partículas del suelo por lo que son libres de moverse por acción de las fuerzas gravitacionales. La capacidad máxima admisible es representada por el parámetro $Uzfw_{Max}$ siendo $UzfwC$ la capacidad de este sector en cualquier intervalo de tiempo. Cabe resaltar que en este sector se genera el flujo hipodérmico o interflujo, siendo Uzk el parámetro que defina la porción de agua libre que se transforma en dicho flujo. Además, parte del agua puede ser evapotranspirada o transformada en escorrentía superficial.

El agua que se encuentra en el sector de *agua libre*, de la *zona superior*, percola hacia otro reservorio denominado *Zona inferior*. El agua que percola depende de la deficiencia de volumen humedad en la zona inferior, de las propiedades del suelo y del almacenamiento de agua en este reservorio. El factor DDA define la máxima demanda de percolación (Ecs. 2.59 y 2.60 y la P_{base} representa la tasa de percolación (Ec. 2.61).

$$P_{Base} = Lzp_{Max} \cdot Lzpk + Lzfp_{Max} \cdot Lsk \quad 2.59$$

$$DEFr = \frac{(Lztw_{Max} - LztwC) + (LzfpC) + (Lzfs_{Max} - LsfsC)}{Lztw_{Max} + Lzfp_{Max} + Lzfs_{Max}} \quad 2.60$$

$$DDA = P_{Base} \cdot (1 + Zperc \cdot DEFr^{Rexp}) \quad 2.61$$

Donde: P_{Base} : Tasa de percolación continua bajo condiciones de saturación [L/T], DDA : Máxima demanda de percolación en la zona baja [L/T], $Zperc$: Proporción de

máxima y mínima tasa de percolación demandada [–], $DEF R$: Deficiencia relativa de agua en la zona baja [–], y R_{exp} : Parámetro de forma de la curva de percolación [–].

La percolación efectiva ($PERC$) depende de la proporción entre la capacidad máxima de la *zona superior* del sector de *agua libre* y su capacidad para cualquier intervalo de tiempo (Ecs. 2.62 a 2.64).

$$PERC = DDA \frac{UzfwC}{uzfw_{Max}} \quad 2.62$$

$$PERC \leq \frac{d(UzfwC)}{dt} \quad 2.63$$

$$PERC \leq \frac{d[(Lztw_{Max} - LztwC) + (Lzfp_{Max} - LzfpC) + (Lzfs_{Max} - LzfsC)]}{dt} \quad 2.64$$

Donde: $PERC$: Percolación real [L/T], DDA : Máxima demanda de percolación en la zona baja [L/T], $Uzfw_{Max}$: Capacidad máxima del sector de agua libre en la zona alta [L], y $UzfwC$: Capacidad del sector de agua libre en la zona alta [L].

Cabe resaltar que el interflujo (Q_{interf}) se genera en el sector de agua libre en la zona superior y depende del contenido de agua, de la tasa de agotamiento (Uzk), como se muestra en la Ec. 2.65.

$$Q_{interf} = Uzk \cdot UzfwC \cdot P_{area} \cdot A \quad 2.65$$

Dónde: Q_{interf} : Interflujo [L^3/T] Uzk : Tasa de agotamiento de la zona alta [L^3/T], $UzfwC$: Contenido de agua libre en la zona alta [L^3/T], P_{area} : Contenido de agua libre en la zona alta [–], y A : Superficie de la cuenca [L^2].

Cuando el sector de *agua libre* de la *zona alta* está completamente lleno y la intensidad de precipitación excede la tasa de percolación y la máxima capacidad de drenaje de interflujo, entonces se genera escorrentía directa o superficial . Por lo tanto, en la *zona alta* (Ec. 2.66) se generan dos tipos de escorrentía: directa (Q_{direct}) e hipodérmica o interflujo (Q_{interf}).

$$Q_{zonaalta} = Q_{direct} + Q_{Interf} \quad 2.66$$

Donde $Q_{zonaalta}$: Escorrentía directa [L^3/T], Q_{direct} : Escorrentía directa [L/T], y Q_{Interf} : Interflujo o flujo hipodérmico [L/T].

La *zona baja* (ver Figura 2.7) está dividida por tres sectores, la primera *sector de agua en tensión de la zona baja* y las dos restantes los *sectores de agua libre primaria* y *agua libre suplementaria*. La primera zona representa el suelo semi-saturado, el cual caracteriza al volumen de humedad en los capas de suelos más bajos, este volumen de humedad será transferida por los suelos secos cuando el volumen de humedad

alcance esa profundidad. El agua es consumida a través de la evapotranspiración, proporcionalmente al a la *ETP* presente en la zona alta del sector de agua en tensión.

El agua que ingresa a este reservorio (*zona baja*) viene de la *zona alta* por percolación, una fracción de esta percolación (P_{free}) irá directamente al *sector de agua libre primaria y secundaria* de la zona baja, incluso si el *sector de agua en tensión* no está lleno; mientras el restante ($1 - P_{free}$) irá al *sector de agua en tensión*. Existirá también transferencia desde los sectores de agua libre hacia el sector de agua en tensión (solo en esa dirección).

Acerca de las capacidades máximas de estos sectores en la zona baja, se debe mencionar al parámetro $Lztw_{Max}$ que representa al sector de agua en tensión. Además, se tienen a los parámetros $Lzfp_{Max}$ y $Lzfs_{Max}$ que representan la capacidad máxima para los *sectores de agua libre primaria y agua libre suplementaria* de la *zona baja* respectivamente. Por otro lado, las variaciones de la capacidad para cualquier intervalo de tiempo de los sectores de agua en tensión, libre primaria y suplementaria están definidas por $LztwC$, $LzfpC$ y $LzfsC$ respectivamente.

Cabe señalar que si el la relación entre el contenido relativo en el *sector de agua en tensión* es más pequeño que el contenido relativo del *sector de agua libre*, entonces el exceso de agua en el *sector de agua libre* es transferido al *sector de agua en tensión*. La siguiente expresión muestra la ecuación para los tres contenidos relativos en los sectores de la *zona baja* (Ecs. 2.67 a 2.69).

$$T = \frac{LztwC}{Lztw_{Max}} \quad 2.67$$

$$RFW = Rserv (Lzfp_{Max} + Lzfs_{Max}) \quad 2.68$$

$$F = \frac{LztwC + LzfsC - RFW}{Lztw_{Max} + Lzfs_{Max} - RFW} \quad 2.69$$

Donde: T : Contenido relativo de agua en el sector de agua libre de la zona baja [–], RFW : Agua libre que no se transfiere la zona de agua en tensión, susceptible a ser flujo base [L], y F : Contenido relativo de agua libre en la zona baja [–] $Rserv$: Fracción de agua libre que no se transfiere al sector de agua en tensión de la zona baja [–].

Por otro lado, si el contenido relativo de agua en tensión es más pequeño que el contenido de agua relativa en toda la *zona baja*, luego se transferirá agua (DEL) del *sector de agua libre suplementaria* hacia el *sector de agua en tensión* (Ecs. 2.70 y 2.71).

$$R = \frac{LzfpC + LzfsC - LztwC - RFW}{Lzfp_{Max} + Lzfs_{Max} - Lztw_{Max} - RFW} \quad 2.70$$

$$DEL = Lztw_{Max}.d(R - T)/dt \quad 2.71$$

Donde DEL : Transferencia de agua libre al sector de agua en tensión de, zona baja $[L/T]$, R : Relación entre el agua disponible por evapotranspiración y el agua total contenido en la zona baja $[-]$, y RFW : Agua que no se transfiere al sector de agua en tensión, susceptible a convertirse en flujo base $[L]$

Acerca de los dos sectores restantes, sector de agua libre primaria y suplementaria, estos representan el subsuelo como por ejemplo los acuíferos. Así, el primero de ellos (sector de agua libre primaria) representa al suelo primario con un muy lento drenaje proveniente del flujo base acumuladas por largos periodos de tiempo (Ec. 2.72). Por otro lado, el sector de agua suplementaria presenta a un tipo de suelo que acumula agua proveniente de lluvia reciente y que alimenta al flujo base (Ec. 2.73).

El flujo entregado por los sectores de agua libre primaria y suplementaria de la zona baja sigue la ley de Darcy y forman el flujo base (Ec. 2.74).

$$Q_{primario} = Lzpk.LzfpC.Parea.A \quad 2.72$$

$$Q_{suplementario} = Lzsk.LzfsC.Parea.A \quad 2.73$$

$$Q_{zona_baja} = Q_{primaria} + Q_{suplementario} \quad 2.74$$

Donde $Q_{primario}$: Flujo proveniente del sector de agua libre primario $[L^3/T]$, $Q_{suplementario}$: Flujo suplementario del sector de agua libre suplementario $[L^3/T]$, Q_{zona_baja} : Flujo proveniente de la zona baja $[L^3/T]$, $Lzpk$: Tasa de deflexión del agua suplementaria en la zona baja $[T^{-1}]$, $Lzsk$: Tasa de deflexión del agua primaria en la zona baja $[L]$, $LzfsC$: Contenido de agua libre suplementaria de la zona baja para cualquier intervalo de tiempo $[L]$, $Parea$: Fracción de área permeable en la cuenca $[-]$, y A : Área de la cuenca $[L^2]$.

Por otro lado, el modelo de Sacramento permite simular la pérdida del flujo base ($Q_{FlujoSubSuperf}$) este flujo no contribuye al caudal base sino se pierde por las fallas geológicas que existen en el subsuelo (Ec. 2.75). Para administrar esta pérdida se tiene el parámetro $Side$ (Ec. 2.76).

$$Q_{FlujoSubSuperf} = Side.Q_{FlujoBase} \quad 2.75$$

$$Q_{FlujoBase} = Q_{ZonaBaja} - Q_{FlujoSubSuperf} \quad 2.76$$

Donde $side$: Tasa de la percolación profunda de los sectores de agua libre $[-]$, $Q_{FlujoSubSuperf}$: Flujo proveniente del sector de agua libre primario $[L^3/T]$, $Q_{FlujoBase}$: Es el flujo proveniente de la zona baja $[L^3/T]$, y $Q_{ZonaBaja}$: Es el flujo proveniente de la zona baja $[L^3/T]$.

Finalmente, la descarga total es la suma de estas cuatro salidas (Ec. 2.77).

$$Q_{tot} = Q_{direct} + Q_{EscorrSuper} + Q_{Interf} + Q_{FlujBase} \quad 2.77$$

Dónde: Q_{tot} : Descarga total del modelo SAC [L^3/T], Q_{direct} : Escorrentía directa [L^3/T], $Q_{EscorrSuper}$: Escorrentía Superficial [L^3/T], Q_{Inter} : Interflujo [L^3/T], y $Q_{FlujoBase}$: Flujo base [L^3/T].

2.3.4.3. Parámetros del modelo SAC-SMA

El modelo presenta 16 parámetros (Tabla 2.9) los cuales deben ser ajustados para generar una correcta simulación, este modelo junto al modelo HBV son complejos en cuanto a su conceptualización. Como consecuencia, su estructuración presenta una gran cantidad de parámetros. Además, el modelo SAC requiere de 6 valores iniciales para su inicialización (Tabla 2.10).

Tabla 2.9: Rangos y parámetros del modelo SAC-SMA

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Rango |
|-----------|--------------|--------|--|-------------------------|
| SAC – SMA | A | m^2 | Área de la cuenca | >0 |
| | $Adimp$ | – | Fracción máxima de área impermeable | $0 \text{ a } 0.2$ |
| | $Pctim$ | – | Fracción permanente de área impermeable | $0 \text{ a } 0.05$ |
| | $Riva$ | – | Fracción de cobertura vegetal | $0 \text{ a } 0.2$ |
| | $Uztw_{Max}$ | m | Capacidad máxima del agua confinada para la zona superior | $0.01 \text{ a } 0.15$ |
| | $Uzfw_{Max}$ | m | Capacidad máxima para el agua libre en la zona superior | $0.005 \text{ a } 0.1$ |
| | Uzk | $1/d$ | Tasa de intercambio agua de la zona de superior | $0.1 \text{ a } 0.75$ |
| | $Zperc$ | – | Relación entre las tasas máximas y mínimas de percolación | $10 \text{ a } 350$ |
| | $Rexp$ | – | Parámetro de la curva de percolación | $1 \text{ a } 4$ |
| | $Pfree$ | – | Fracción de la percolación que va directamente de la zona libre a la zona baja | $0 \text{ a } 0.6$ |
| | $Lztw_{Max}$ | m | Capacidad máxima del agua confinada para la zona inferior | $0.05 \text{ a } 0.04$ |
| | $Lzfp_{Max}$ | m | Capacidad máxima para el agua libre en la zona inferior | $0.03 \text{ a } 0.80$ |
| | $Lzfs_{Max}$ | m | Capacidad máxima de la zona inferior suplementaria. | $0.01 \text{ a } 0.4$ |
| | $Rserv$ | – | Fracción del agua almacenada en la zona más baja no transferible | $0 \text{ a } 1$ |
| | $Lzpk$ | $1/d$ | Tasa de agotamiento del almacenamiento de agua libre de la zona baja principal | $0.001 \text{ a } 0.03$ |
| | $Lzsk$ | $1/d$ | Tasa de agotamiento del almacenamiento de agua libre de la zona baja suplementaria | $0.02 \text{ a } 0.3$ |
| | $Side$ | – | Fracción de la percolación profunda que se pierde en la zona libre inferior | $0 \text{ a } 0.5$ |

Fuente: García et al. (2016)

Tabla 2.10: Parámetros iniciales del modelo SAC-SMA

| Modelo | Param | Unidad | Descripción | Valor inicial |
|-----------|--------------|--------|--|---------------|
| SAC – SMA | $Adim_{Ini}$ | mm | Contenido de agua inicial en tensión | – |
| | $Uztw_{Ini}$ | mm | Nivel inicial de la tensión de agua en la capa superior | – |
| | $Uzfw_{Ini}$ | mm | Nivel inicial de agua libre en la capa superior | – |
| | $Lztw_{Ini}$ | mm | Nivel inicial de la tensión de agua en la capa inferior | – |
| | $Lzfp_{Ini}$ | mm | Nivel inicial del agua libre primario en la capa inferior | – |
| | $Lzfs_{Ini}$ | mm | Nivel inicial del agua libre suplementario en la capa inferior | – |

Fuente: García et al. (2016)

2.4. Herramienta computacional

2.4.1. Descripción general

RS MINERVE es un software diseñado para el modelamiento hidrológico e hidráulico, estructurándose como un esquema conceptual semidistribuido. La innovación de RS MINERVE está representada por su capacidad para modelar no solo sistemas complejos hidrológicos como la fusión de la nieve y el derretimiento de los glaciares, la escorrentía superficial y subterránea en una cuenca, sino también el tránsito de la escorrentía, estructuras hidráulicas, centrales hidroeléctricas, entre otras contenidas en ella (Foehn et al., 2016; García et al., 2016).

RS MINERVE está desarrollado por el [Centre de recherche sur l'environnement alpin - CREALP](#) junto con la Oficina de Ingeniería HydroCosmos S.A., con la colaboración de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) en Suiza, la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en España y la Asociación Hydro10. Los algoritmos y las primeras versión del software fueron desarrolladas dentro de la tesis Doctoral de Javier García Hernández, (García, 2011), en el proyecto Minerve para el control de avenidas en el río Ródano, en los Cantones de Valais – Suiza.

El software tiene sus bases en el proyecto Minerve, el cual fue llevado por el centro Le Pôle GestCrues en colaboración con el Cantón de Valais – Suiza, (García et al., 2014). El proyecto, que actualmente está operativo, tiene por objetivo el pronóstico de crecidas, así como la toma de decisiones para una seguridad eficaz contra zonas posibles de inundación en la cuenca del Ródano, ubicado en el poblado del mismo nombre. Así, RS MINERVE adoptó las bases de la Routing System II que fue desarrollado en el [laboratorio de construcciones Hidráulicas - LCH](#) de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL.

2.4.1.1. Entorno y requerimiento de la plataforma RS MINERVE

RS MINERVE que actualmente es de libre difusión está disponible en la página de [CREALP](#) esta es un institución estatal suiza creada en 1968 y tiene como misión el desarrollo de la investigación aplicada en las áreas de Ciencias de la Tierra y riesgos naturales.

El software que sustenta actualmente la versión 2.3 ([Tabla 2.11](#)) puede ser ejecutado en entorno Windows 7 o superiores de 32 ó 64 bits, su instalación es sencilla y automática. Los requerimientos básicos del hardware, no son estrictos, requiriendo un sistema operativo Windows 7 o superior con una capacidad de performance estándar en el mercado. Cabe resaltar que para un mejor desempeño de RS MINERVE se recomienda una Workstation como es el caso para los cálculos realizados en la presente tesis.

Tabla 2.11: Resumen, descripción de complementos para RS MINERVE

| Software/complemento | Versión | Complemento |
|-------------------------|---------|---|
| RS Minerve | 2.5 | Versión actual a partir febrero de 2017 |
| Manual de usuario | 2.4 | Versión actual a partir del 11 de mayo de 2016, describe las principales funciones del software. |
| Manual técnico | 2.4 | Versión actual a partir del 6 de mayo de 2016, describe los modelos hidrológicos implementados en el software, así como la base teórica de las herramientas usadas para el modelamiento |
| Ejemplos y aplicaciones | - | Actualmente está disponible una base de datos de guía para la realización de ejercicios, los cuales permiten familiarizarse con el software. |

Fuente: Elaboración propia

En la [tabla 2.11](#) se presenta el entorno gráfica de RS Minerve, en donde se destacan los *objetos*, el editor de herramientas, el modulo de calibración y las caja de herramientas.

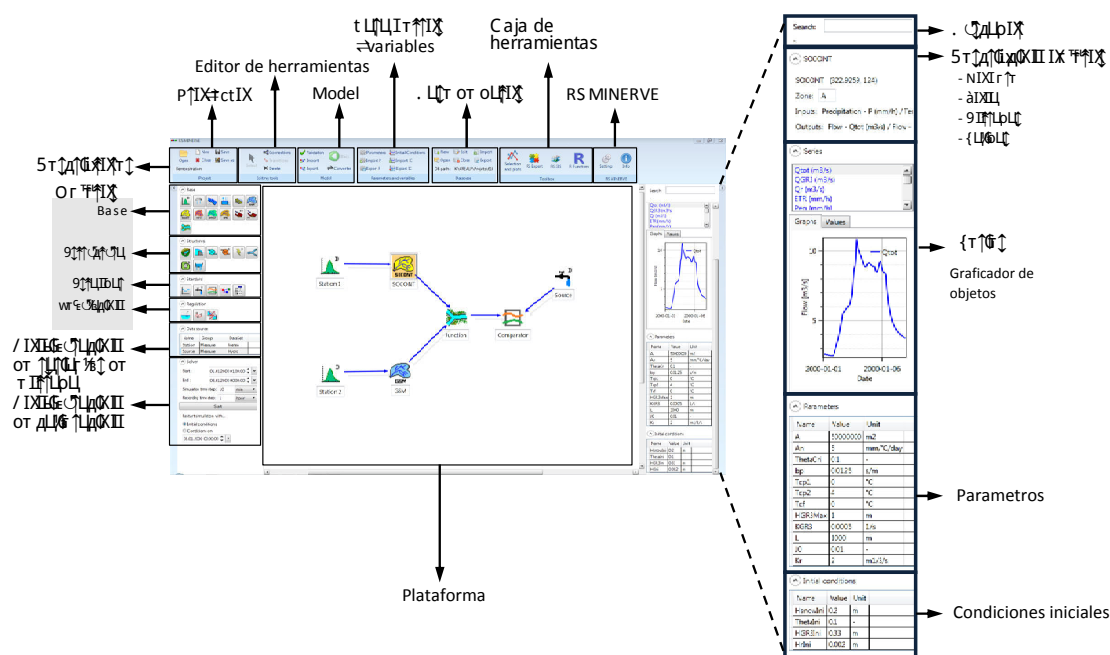


Figura 2.8: Entorno del Software RS MINERVE

Fuente: Foehn et al. (2016)

2.4.2. Elementos para la modelización: Objetos

Los Objetos son de cuatro tipos de: *base*, *estructura*, *estándares* y *regulación* (Figura 2.9). El grupo conformado por los objetos *base* es el más importante, estos simbolizan a los modelos hidrológicos, el tránsito de las avenidas y estaciones

meteorológicas, conocidas por sus siglas en ingles VWE (virtual Weather Station).

El grupo *estructura* representa a las obras hidráulicas presentes en una cuenca regulada, estas pueden ser controladas por los objetos del grupo *reguladas*. Finalmente, se tiene al grupo de objetos *estándares*, estos son los que mejoran la interface del modelo (*Submodele y interface de submodelo*) siendo los más importantes *recurso y comparador*. Cabe resaltar que estos objetos son los responsables de representar la serie caudal observado y comparar la serie simulada con la observada respectivamente.

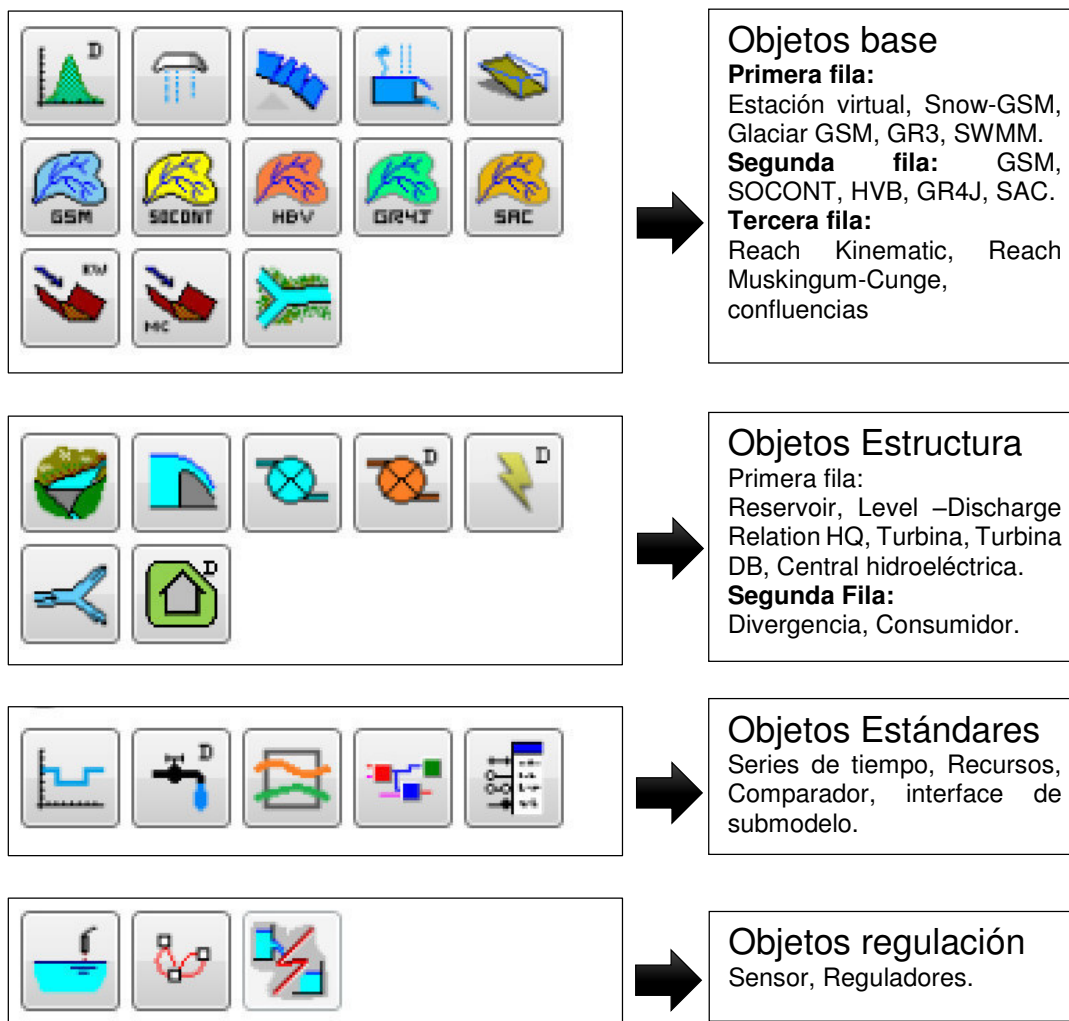


Figura 2.9: Objetos base

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Elementos para la modelización: Caja de herramientas

RS MINERVE presenta tres módulos importante dentro la caja de herramientas, ellas son Selección y ploteo, RS Experto y RS Gis (Figura 2.10).

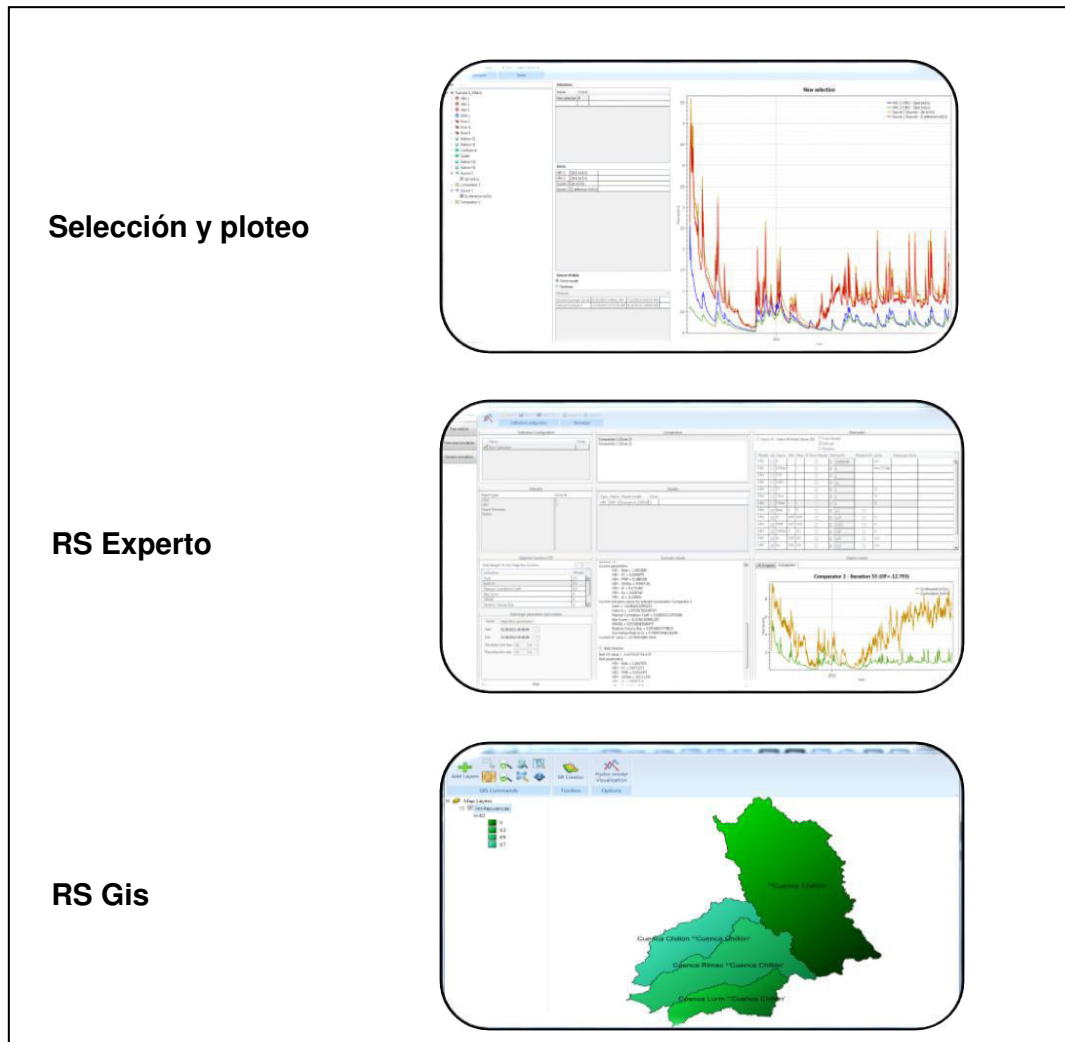


Figura 2.10: Módulos del RS Minerve

Fuente: Elaboración propia

2.4.3.1. Selección y ploteo

Permite graficar series simuladas, observadas, salidas de los modelos, confluencias etc, su capacidad de gráfica es eficiente y no recarga el software. Además, esta herramienta permite exportar las series graficadas así como las imágenes mostradas.

2.4.3.2. Rs Experto

Esta herramienta ubicada en la pestaña caja de herramientas (Figura 2.8) permite calibrar modelos hidrológicos de forma automática, actualmente presenta dos métodos de calibración automática multiobjetivo, a saber: la shuffled complex evolution of Arizona (Duan et al., 1993), y la Uniform adaptive Monte Carlos (Gilks et al., 1995; Liu, 2004), ambos métodos están configurados para encontrar el mejor juego de parámetros para

un modelo. Para el proceso de calibración se requiere establecer la función objetivo (FO) la cual relaciona, por medio de ponderaciones, los indicadores estadísticos de eficiencia que se piensen considerar para la evaluación de la calibración. Para mayor información acerca de los métodos se sugiere leer el manual técnico del Rs MINERVE (García et al., 2016).

El modulo a su vez presenta la pestaña time-slice simulation (Figura 2.11) esta herramienta permite observar con más detalle el comportamiento de la serie simulada. Así, puede generar series a nivel horario, diario, semanal, mensual y anual permitiendo juzgar gráfica y estadísticamente la bondad de ajuste de la serie simulada. Se tiene también las pestañas scenario simulation y Data analysis, esta última en fase de desarrollo.

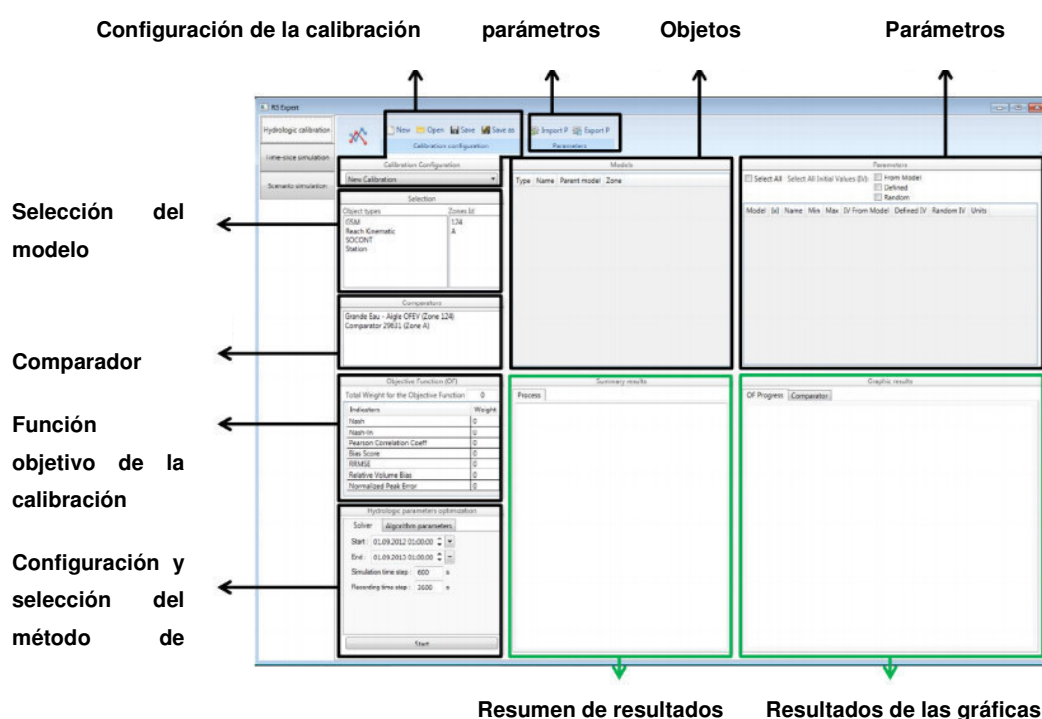


Figura 2.11: Módulo del RS experto

Fuente: Foehn et al. (2016)

2.4.3.3. Rs Gis

La herramienta que actualmente está en desarrollo, brinda un soporte gis básico (Figura 2.12), sin embargo la principal ventaja del módulo es su caja de herramientas, el cual trabaja bajo el paquete estadístico R. La herramienta permite dividir la cuenca de interés en bandas por un criterio de altitud, proporcionando el área y el centroide de cada banda. Esta aplicación permite generar un entorno semidistribuido para el modelamiento. Sin embargo, esta herramienta en la actualidad ha sido separada de Rs MINERVE e incluida en otro software, a saber: TeResA (Travaglini et al., 2016).

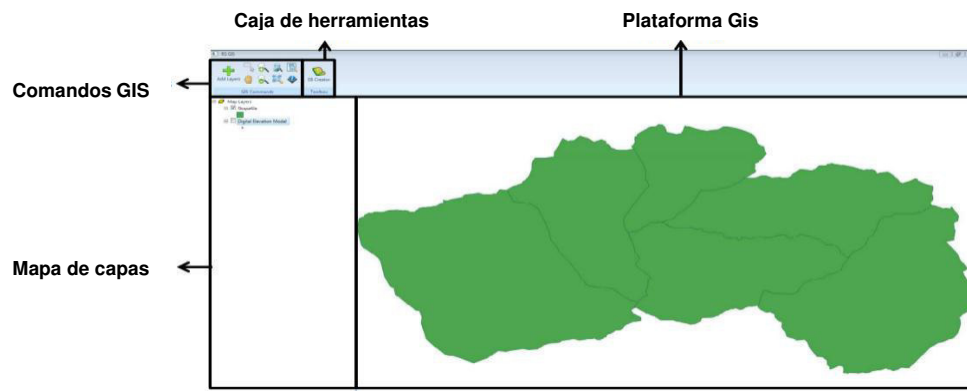


Figura 2.12: Módulo del RS Gis

Fuente: Foehn et al. (2016)

2.4.3.4. RS Visualizador de la base de datos

El almacenamiento de las series de tiempo son realizados dentro de este formato (Figura 2.13), este permite organizar de manera óptima la información de entrada, la Database permite registrar la ubicación de las estaciones así como visualizar la información.

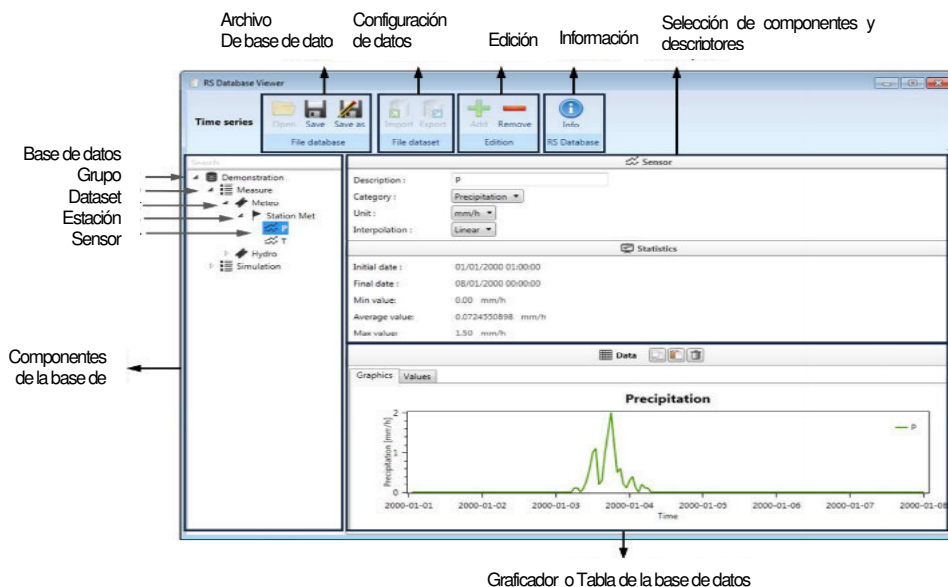


Figura 2.13: Módulo del RS base de datos

Fuente: Foehn et al. (2016)

2.4.3.5. Modelos de predicción de lluvia para el Perú

El Centro de predicción numérica (CPN) del SENAMHI actualmente brinda pronóstico de lluvia a futuro acorto plazo (24, 48 y 72 horas) y largo plazo los cuales son presentados espacialmente en grillas o cuadrículas para el Perú (Figura 2.14).

El CPN inició sus labores a finales del año 2000 brindando inicialmente pronóstico de tiempo del modelo ETA-SENAMHI ([Avalos, 2009](#)). Además, desde el 2011 se ha concluido los estudios de validación del modelo Weather Research & Forecasting Model (WRF) ([Cheng and Steenburgh, 2005](#)) el cual está operativo a la fecha. Así se tiene dos productos de lluvia: ETA-SENAMHI y el WRF.

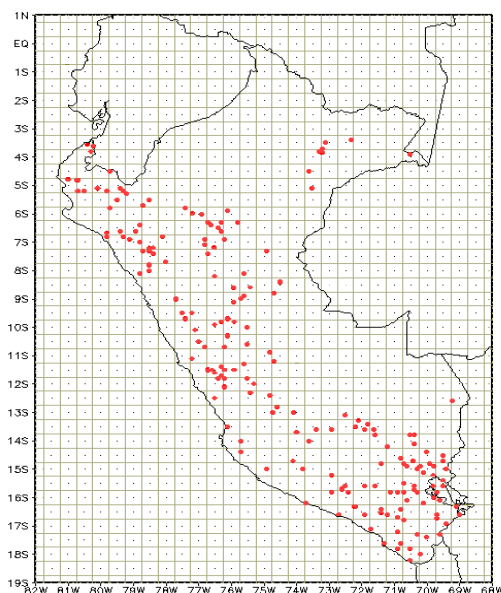


Figura 2.14: Grillas de pronóstico de lluvia y ubicación de estaciones meteorológicas en el territorio peruano

Fuente: [Avalos \(2009\)](#)

2.4.3.6. Modelo ETA-SENAMHI

El modelo numérico ETA-SENAMHI ([Avalos, 2009](#)) es una adaptación del modelo ETA el cual fue desarrollado por el National Centers for Environmental Prediction de los Estados Unidos. El ETA-SENAMHI es un modelo hidrostático que fue implementado a mediados del 2000 y actualmente se encuentra en su tercera versión. El modelo tiene la capacidad de pronosticar lluvias con una resolución temporal diaria (dos veces por día) y una resolución espacial de 22 *km*. Su cobertura va desde los $[85^{\circ}W - 56^{\circ}W]$ y los $[28^{\circ}S - 4^{\circ}N]$.

2.4.3.7. Modelo WRF

El modelo Weather Research & Forecasting Model WRF ([Cheng and Steenburgh, 2005](#)) fue desarrollado por el National Center of Atmospheric Research de los Estados Unidos. El WRF, el cual es un modelo no hidrostático, fue implementado a fines del 2009 y actualmente se encuentra en su segunda versión. El modelo presenta una resolución y espacial igual a la del modelo ETA-SENAMHI. Sin embargo, su cobertura va desde los $[85.2^{\circ}W - 66.7^{\circ}W]$ y los $[19.8^{\circ}S - 2.1^{\circ}N]$.

Materiales y métodos

“La duda es la madre de la invención.”

—Galileo Galilei

Se presenta una descripción cualitativa y cuantitativa de la cuenca del río Chillón y de las subunidades de orden cinco propuestas por la Autoridad Nacional del Agua inscritas en ella, así como los principales parámetros geomorfológicos. Además, se describe el área de estudio como un área representativa del área efectiva de la cuenca del río Chillón, considerando para su delimitación la ubicación geográfica de la estación Puente Magdalena ubicada en la parte baja de la cuenca (ver [Apartado 3.1.2](#)). Consecuentemente, los modelos propuestos en la presente tesis fueron adecuados en ella.

3.1. Cuenca del río Chillón

La cuenca del río Chillón se ubica en la vertiente del pacífico, su cabecera se origina en las inmediaciones del flanco occidental de la cordillera denominada La Viuda recibiendo sus deshielos y finalmente desembocando en el océano pacífico. Políticamente se ubica en el departamento de Lima y en la provincia Constitucional del Callao, comprendiendo a 17 distritos ([Tabla 3.1](#)). La cuenca está inscrita entre los paralelos $[11^{\circ}20'S - 12^{\circ}00'S]$ y $[76^{\circ}20'W - 77^{\circ}10'W]$ limitando por el sur con la cuenca de río Rímac, por el este con la cuenca del río Mantaro, por norte con la cuenca del río Chancay y por el Oeste con el océano Pacífico ([Figura 3.1](#)).

La cuenca tiene una extensión aproximada de 2210 km^2 del cual 966 km^2 corresponden a la cuenca húmeda. Altitudinalmente se desarrolla desde los 0 m.s.n.m. hasta más de los 5000 m.s.n.m. La cuenca del río Chillón inscribe a 19 distritos de las provincias de Lima, Canta y la provincia constitucional de Callao. La cuenca del Chillón presenta 9 subunidades hidrológicas. Su cauce principal recibe los aportes de agua principalmente de los ríos Yamacoto, Huancho, Ucaña y Quisquichaca.

Tabla 3.1: Provincias y distritos de la cuenca del río Chillón

| Cuenca | Provincia | Distritos incluidos |
|---------|------------------------------|--|
| Chillón | Lima Metropolitana | San Martín de Porres, Los Olivos, Puente Piedra, Santa Rosa, Ancón, Comas, Independencia y Carabayllo. |
| | P. constitucional del Callao | Ventanilla, Callao. |
| | Canta | Santa Rosa de Quives, Arahua, Tachaquí, Carhua, San Buenaventura, Canta y Huaros. |

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1. Subunidades y climatología de la cuenca

La cuenca del río Chillón presenta 9 subunidades hidrológicas (Tabla 3.2 y Figura 3.1) siendo las de mayor importancia por la generación de escorrentía, las subcuencas Alto Chillón y Quisquichaca. Por otro lado, la mayor población en la cuenca está ubicada en las subcuencas de Bajo Chillón, Río Seco, Gangay y Medio Bajo Chillón.

Respecto a la climatología, se tiene en la parte alta de la cuenca (4000 *m.s.n.m* a más) temperaturas anuales por debajo de los 6 °C y precipitaciones anuales del orden de los 700 *mm*. Entre los 4000 – 3100 *m.s.n.m* se presenta temperaturas en el rango de los 6 °C - 12 °C con precipitaciones anuales de promedio de 500 *mm*. Por debajo de los 3100 *m.s.n.m* se tiene temperaturas en un rango de 18 a 24 °C e y precipitaciones anuales promedio de 200 *mm* (Figuras 3.4 a 3.6).

Tabla 3.2: Subcuencas del río Chillón

| Subcuencas | Descripción | Superficie | |
|--------------------|---|-----------------|------|
| | | km ² | % |
| Chillón Alto | Políticamente ubicada por los distritos de Huaros y Canta, San Buenaventura Huamantanga. En ella están ubicadas la mayoría de lagunas | 781.2 | 35.2 |
| Quisquichaca | Políticamente ubicada en el distrito de Arahua, Lachacuy y en menor medida en el distrito de Canta | 394.9 | 17.8 |
| Socos | Políticamente ubicada (en mayor medida) en el distrito de Huamantanga | 199.62 | 9 |
| Gangay | Políticamente ubicada (en mayor medida) en el distrito de Huamantanga, parte de Carabayllo y Santa Rosa de Quives | 149.3 | 6.7 |
| Medio Alto Chillón | Políticamente está ubicada (en mayor medida) en el distrito de Santa Rosa de Quives | 166.2 | 7.5 |
| Medio Chillón | Políticamente está ubicada en el distrito de Santa Rosa de Quives | 43 | 1.9 |
| Río Seco | Políticamente está ubicada (en mayor medida) en el distrito de Carabayllo y en menor medida en el distrito de San Antonio | 19.96 | 0.9 |
| Medio Bajo Chillón | Políticamente está ubicada en el distrito de Carabayllo | 169.4 | 7.6 |
| Chillón Bajo | Políticamente ubicada (en mayor medida) en el distrito de Carabayllo, con una longitud de su cauce de 58.62 <i>km</i> | 296.7 | 13.4 |
| Total | | | 100 |

Fuente: Elaboración Propia

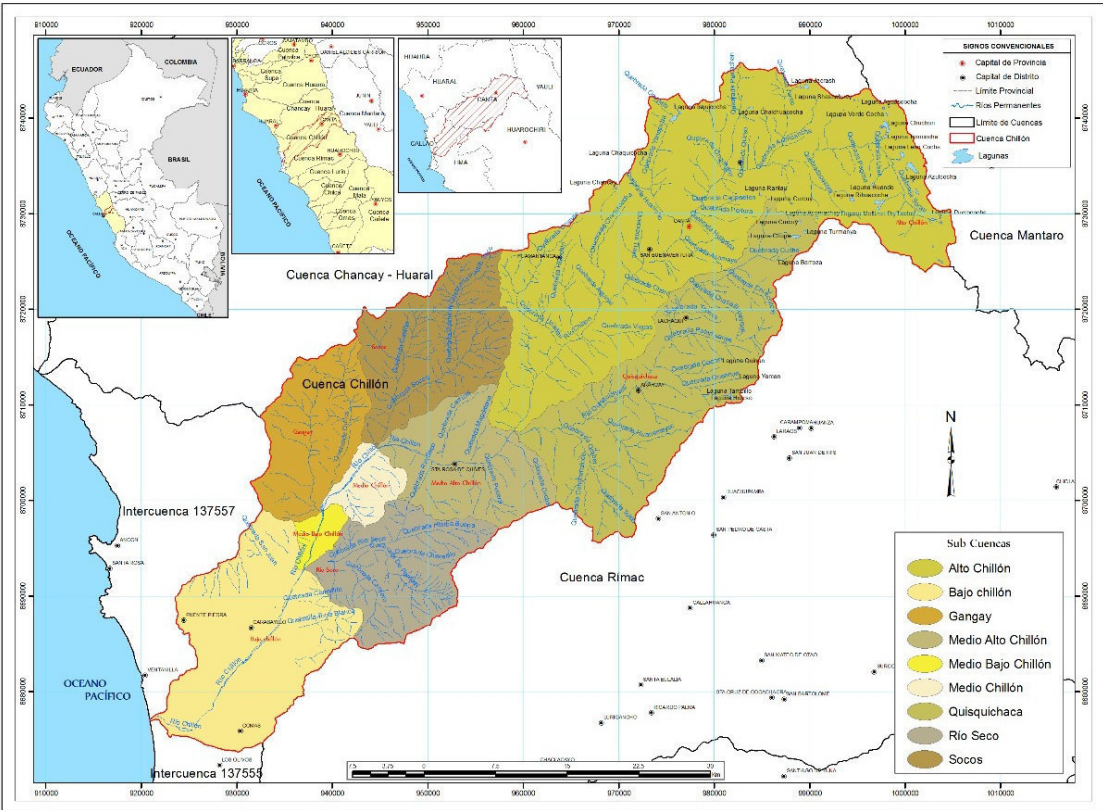


Figura 3.1: Mapa de subcuencas de la cuenca del río Chillón
Fuente: SENAMHI

Tabla 3.3: Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chillón

| Parámetros | Unidad | Chillón Alto | Quisquichaca | Socos | Gangay | Medio Alto Chillón | Medio Chillón | Río Seco | Medio Bajo Chillón | Chillón Bajo |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------------|---------------|----------|--------------------|--------------|
| Área | km ² | 733.3 | 370.7 | 187.4 | 140.0 | 156.1 | 40.4 | 159 | 20.6 | 278.8 |
| Perímetro | km ² | 179.5 | 117.1 | 70.8 | 56.1 | 60.3 | 30.0 | 64.4 | 21.2 | 83.6 |
| Altura máxima | m.s.n.m | 5261.0 | 5005.0 | 3202.0 | 1968.0 | 3353.0 | 1977.0 | 2706.0 | 1212.0 | 1614.0 |
| Altura mínima | m.s.n.m | 1130.0 | 1134.0 | 675.0 | 488.0 | 681.0 | 489.0 | 361.0 | 357.0 | 4.0 |
| Altura media | m.s.n.m | 3715.0 | 3536.0 | 1762.0 | 1085.0 | 1693.0 | 1006.0 | 1314.0 | 653.0 | 434.0 |
| Coef. de compacidad | — | 1.9 | 1.7 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.4 |
| Coef. de masividad | — | 5.0 | 10.0 | 9.0 | 8.0 | 11.1 | 25.0 | 8.0 | 32 | 2.0 |
| Longitud del cauce principal | km | 58.6 | 43.0 | 28.0 | 15.1 | 15.1 | 9.1 | 20.9 | 6.7 | 26.7 |
| Pendiente media de la UH | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Pendiente prom. del río | % | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Lado Mayor del rectángulo equivalente | km | 80.6 | 51.3 | 28.9 | 21.6 | 23.5 | 11.5 | 26.1 | 8.0 | 33.5 |
| Lado Menor del rectángulo equivalente | km | 9.1 | 7.2 | 6.5 | 6.5 | 6.6 | 3.5 | 6.1 | 2.6 | 8.3 |

Fuente: SENAMHI

A continuación se muestra la [tabla 3.3](#) y [figura 3.3](#) que resume los parámetros geomorfológicos de la cuenca de río chillón para las 9 subcuencas de la misma. Destacan las subcuencas Chillón alto y Quisquichaca por presentar una mayor área, coeficiente de compacidad y rectángulo equivalente. Así mismo, se presente gráficamente de la pendiente o relieve medio por cada subunidad hodrológica de la cuenca del Chillón ([Figura 3.2](#)).

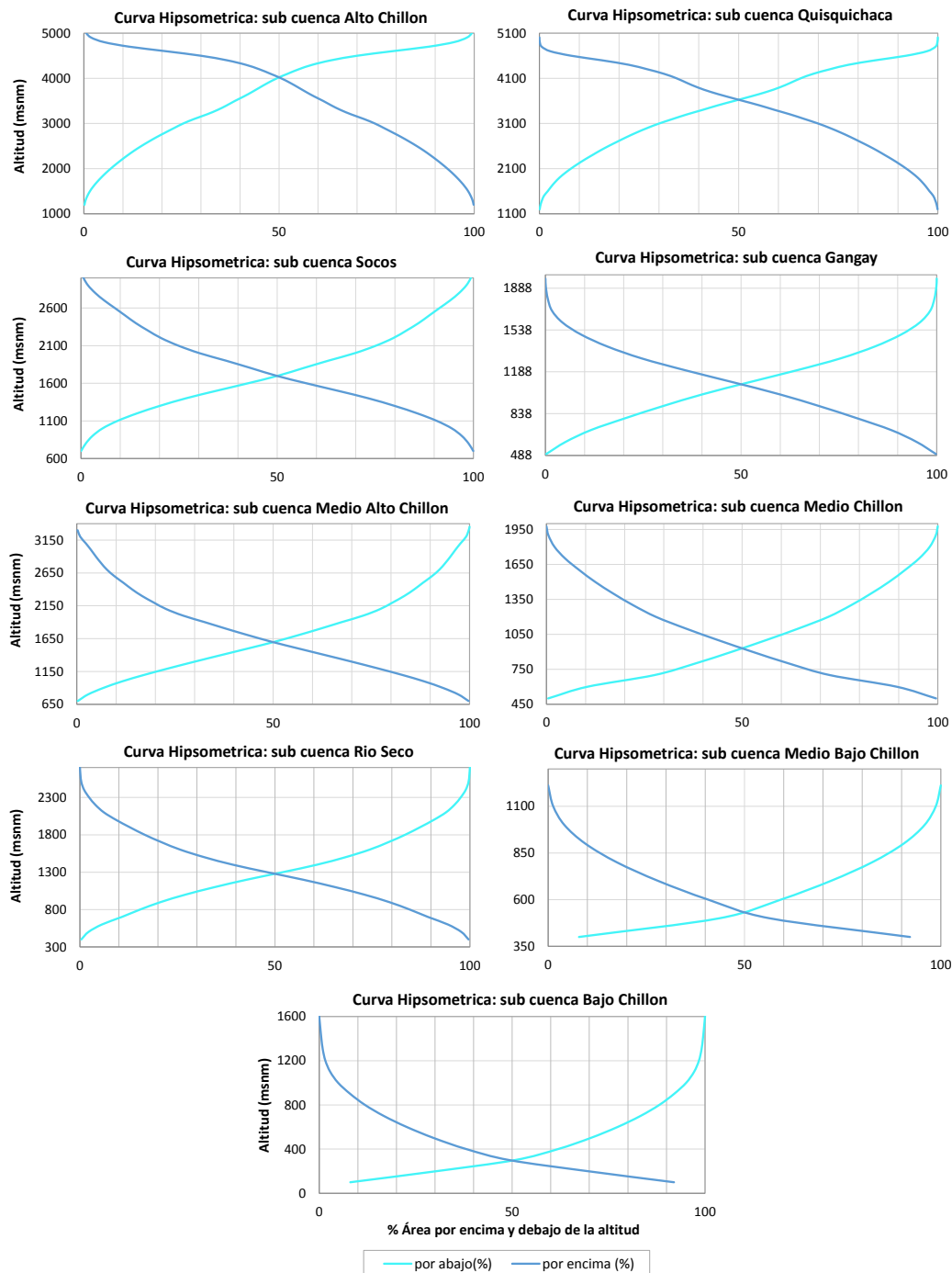


Figura 3.2: Curva Hipsométrica por subcuenca - Cuenca del río Chillón

Fuente: SENAMHI

En la [figura 3.2](#) se destaca el comportamiento abultado o convexo de la curva hipsométrica para las subunidades Alto Chillón y Quisquicháca, lo cual refleja un álta potencial de erosión. Además, se observa que las subcuencas ubicadas en las faldas de la cuenca del Chillón presentan una curva hipsométrica deprimida siendo reflejo de un relieve o pendiente media erosionado (estable).

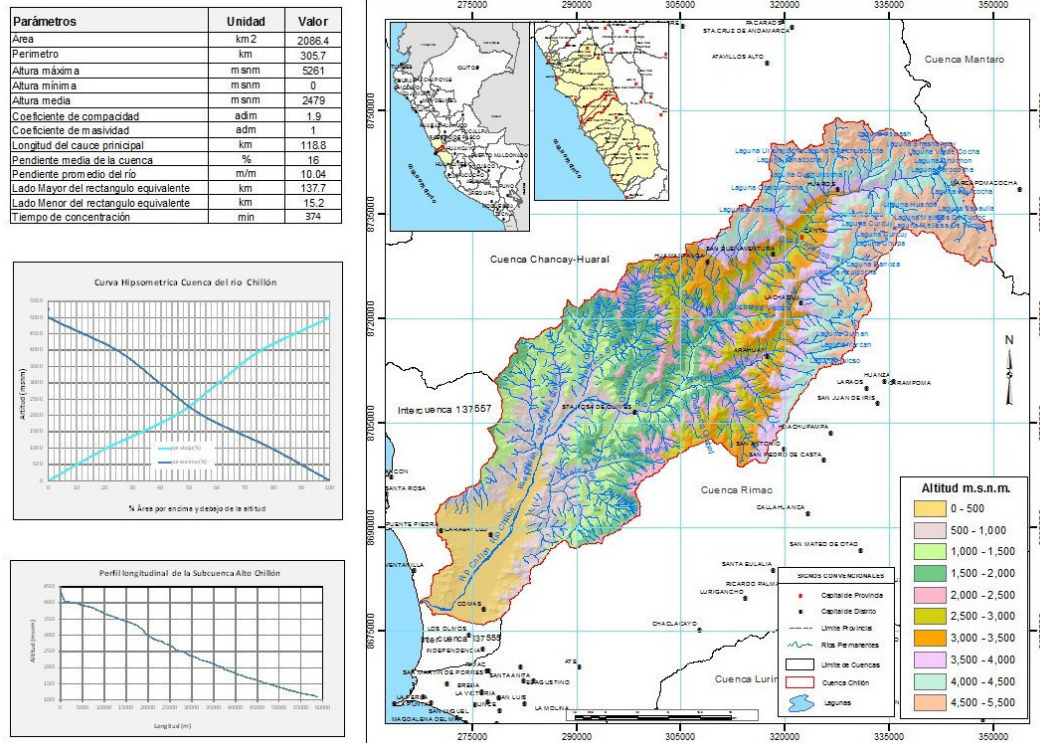


Figura 3.3: Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chillón

Fuente: SENAMHI

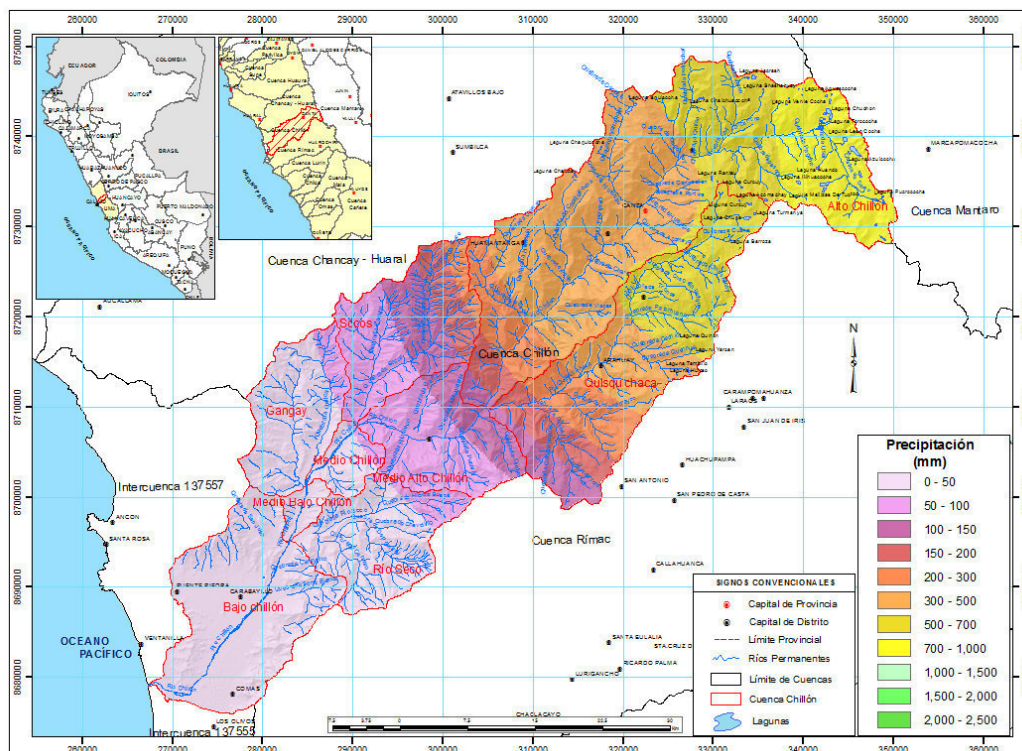


Figura 3.4: Mapa de precipitación multianual en la cuenca del río Chillón

Fuente: SENAMHI

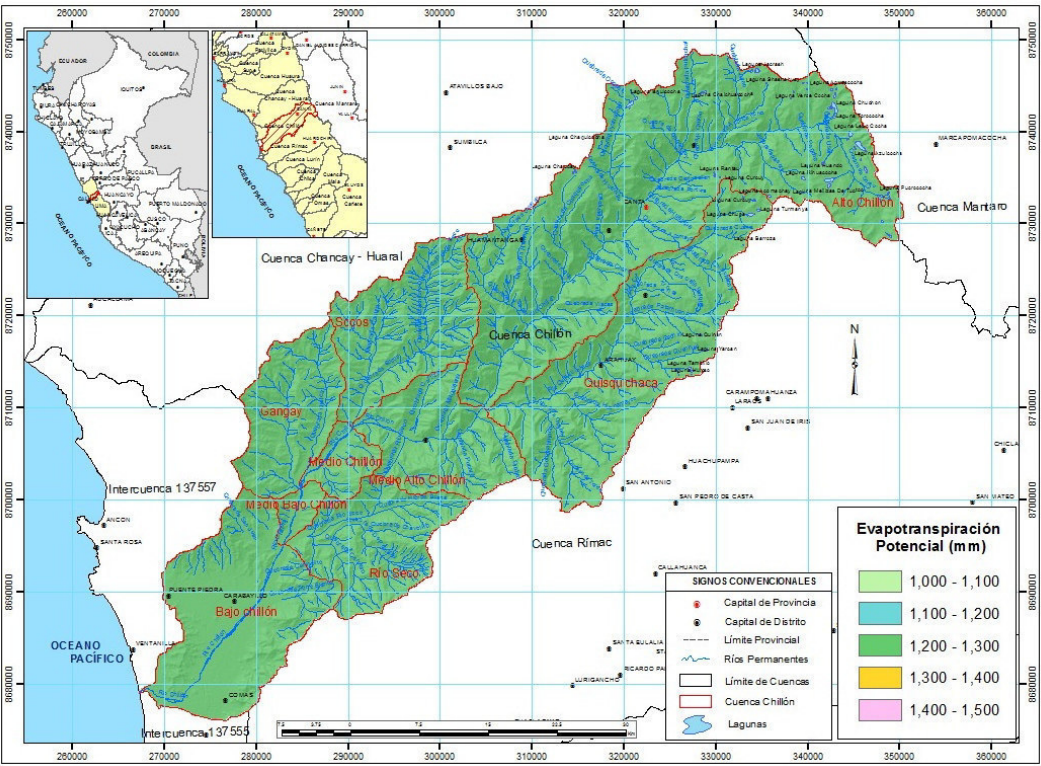


Figura 3.7: Mapa de evapotranspiración multianual de la cuenca del río Chillón
Fuente: SENAMHI

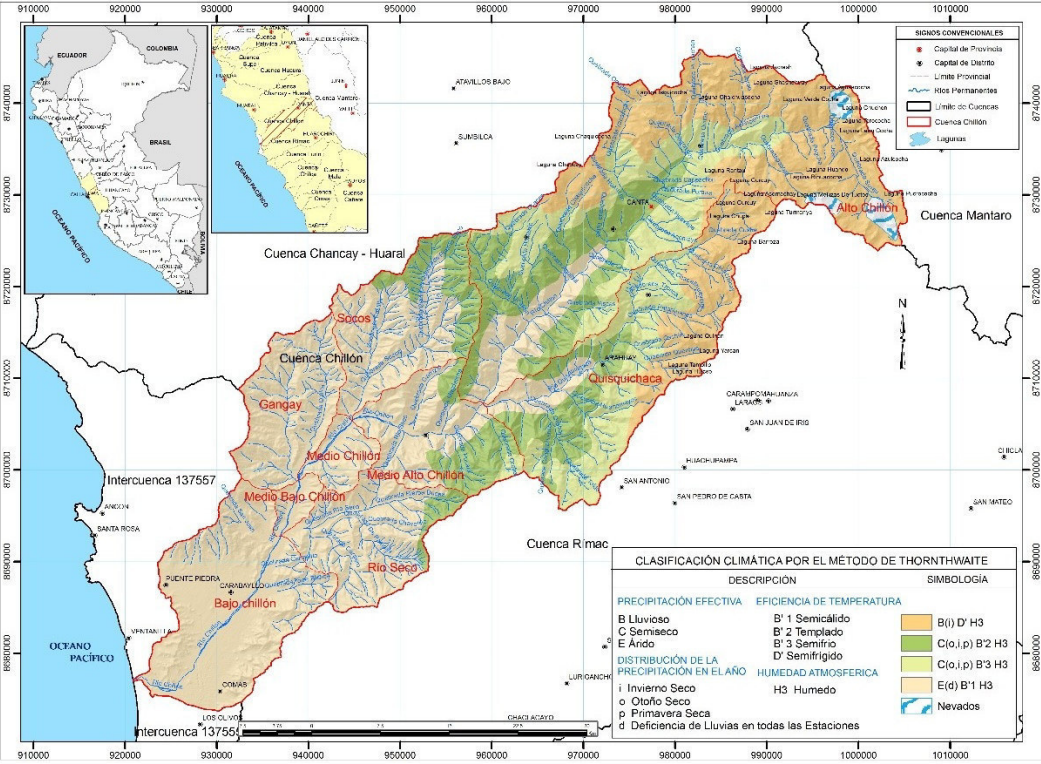


Figura 3.8: Mapa climático de la Cuenca del río Chillón
Fuente: SENAMHI

En la [figura 3.7](#) se presenta el comportamiento de la evapotranspiración potencial multianual en la cuenca del río Chillón, en ella se observa importantes pérdidas de precipitación en el rango de 1200 a 1300 *mm*. Además se presenta un mapa climatológico por el método de Thornthwaite para la cuenca del Chillón, ([Figura 3.8](#)). La escorrentía generada en la zona media y alta es la más relevante para la cuenca del río Chillón presentando un caudal promedio de 5.6 *m³/s* (según registro de la estación de aforo Puente Magdalena).

3.1.2. Área de estudio

Para la presente tesis se ha considerado parte de la cuenca del río Chillón, siendo la subcuenca Magdalena el área de estudio ([Figura 3.9](#)). La subcuenca presenta una extensión aproximada de 1253 *km²* y fue delimitada tomando en cuenta el punto de aforo Puente Magdalena ubicada a 970 *m.s.n.m.* El área de estudio abarca las subcuencas Alto Chillón, Quisquichaca y parte de la subcuenca medio alto Chillón. Cabe resaltar que la escorrentía generada en el área de estudio es la más relevante para la cuenca del río Chillón

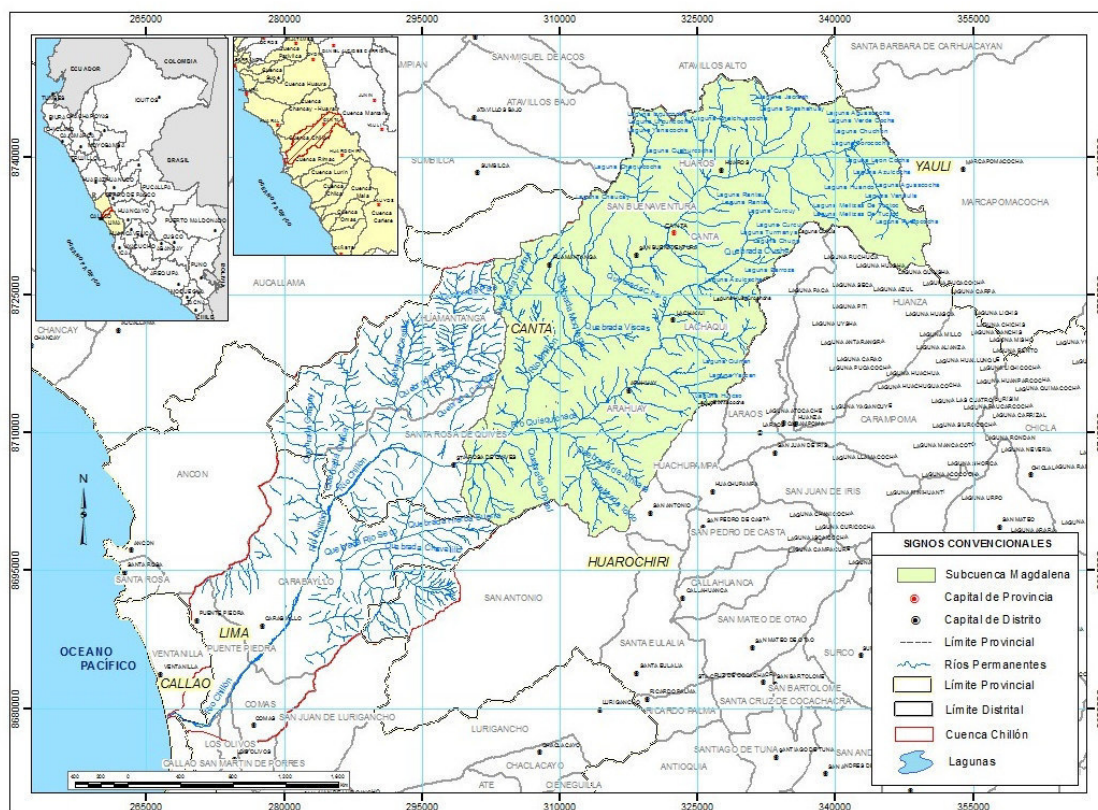


Figura 3.9: Delimitación del área de estudio: Subcuenca Magdalena

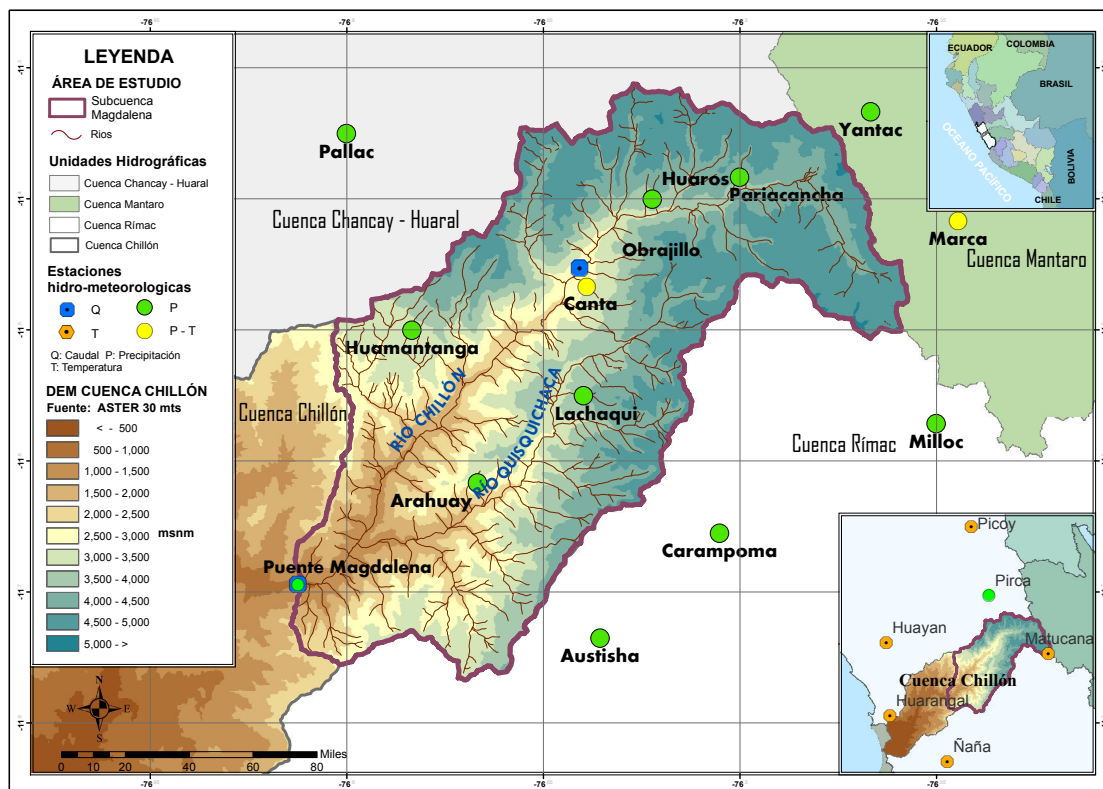
Fuente: Elaboración propia

3.2. Información hidro-meteorológica

De la red pluviométrica administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) se consideró 19 estaciones meteorológicas circunscritas al área de estudio, de las cuales se tiene 14 registros de precipitación a escala diaria y 6 registros de temperatura a escala mensual.

En la [tabla 3.4](#) se detalla las estaciones climáticas y hidrológicas, así también se observa en la [figura 3.10](#) la ubicación espacial de las estaciones consideradas en la presente tesis.

La cuenca del río Chillón cuenta con dos estaciones de aforo, la primera, la estación hidrológica Obrajillo, ubicada en el distrito San Buenaventura en la provincia de Canta departamento Lima a una altitud de 2710 *m.s.n.m.* La estación cuenta con registros de aforo diario desde el año 68 con una interrupción de 12 años (1984 – 1996). Aguas abajo en el distrito de Santa Rosa de Quives a una altitud de 930 *m.s.n.m.* se ubica la estación Puente Magdalena con registro de aforo desde el año 74 con mayores interrupciones (1984 – 2004 y 2012 – 2013 años hidrológicos).



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4: Resumen de estaciones hidrometeorológicas en el área de estudio

| Estación | Departamento Provincia | Distrito | U.H | Variable | Longitud (°) | Latitud (°) | Altitud (m.s.n.m) |
|--------------|---------------------------|------------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|----------------------|
| Huayan | Huaral | Huaral | Chancay | <i>T</i> | 77° 07' 01" | 11° 27' 01" | 350 |
| Huarangal | Lima | Ancón | Chillón | <i>T</i> | 77° 06' 00" | 11° 46' 48" | 410 |
| Ñaña | Lima | Lurigancho | Rímac | <i>T</i> | 76° 50' 24" | 11° 59' 24" | 566 |
| P. Magdalena | Canta | S. Rosa de Q. | Rímac | <i>Q</i> | 76° 50' 14" | 11° 41' 38" | 930 |
| Austisha | Huarocharí | San Antonio | Rímac | <i>P</i> | 76° 36' 25" | 11° 44' 08" | 2171 |
| Carampoma | Huarocharí | Carampoma | Rímac | <i>P</i> | 76° 30' 56" | 11° 39' 19" | 2333 |
| Matucana | Huarocharí | Huanza | Rímac | <i>T</i> | 76° 22' 48" | 11° 30' 00" | 2350 |
| Arahuay | Canta | Arahuay | Chillón | <i>P</i> | 76° 42' 01" | 11° 37' 01" | 2690 |
| Obrajillo | Canta | San Buenaventura | Rímac | <i>Q</i> | 76° 37' 20" | 11° 27' 10" | 2710 |
| Canta | Lima | Canta | Chillón | <i>P – T</i> | 76° 37' 01" | 11° 28' 01" | 2974 |
| Picoy | Huaura | Sa. Leonor | Huaura | <i>T</i> | 76° 43' 48" | 10° 55' 12" | 3050 |
| Pirca | Huaral | Atavillos Alto | Chancay | <i>P</i> | 76° 39' 01" | 11° 14' 01" | 3200 |
| Huamantanga | Canta | Huamantanga | Chillón | <i>P</i> | 76° 45' 01" | 11° 30' 01" | 3300 |
| Pallac | Huaral | Atavillos bajo | Chancay | <i>P</i> | 76° 48' 01" | 11° 21' 01" | 3489 |
| Huaros | Canta | Huaros | Chillón | <i>P</i> | 76° 34' 01" | 11° 24' 01" | 3741 |
| Lachaqui | Canta | Lachaqui | Chillón | <i>P</i> | 76° 37' 10" | 11° 33' 01" | 3800 |
| Pariacancha | Canta | Huaros | Chillón | <i>P</i> | 76° 30' 01" | 11° 23' 01" | 4146 |
| Tingo | Huarocharí | Huanza | Rímac | <i>P</i> | 76° 29' 01" | 11° 37' 01" | 4200 |
| Milloc | Huarocharí | Carampoma | Rímac | <i>P</i> | 76° 21' 01" | 11° 34' 18" | 4350 |
| Yantac | Junin | Yauli | Marcapomacocha | <i>P</i> | 76° 24' 01" | 11° 20' 01" | 4550 |
| Marca | Yauli | Marcapomacocha | Mantaro | <i>P – T</i> | 76° 20' 01" | 11° 25' 01" | 4574 |

P: Precipitación
T: Temperatura
T: Caudal

Fuente: SENAMHI

3.2.1. Análisis de la información meteorológica

Se realizó un análisis exploratorio de la información meteorológica, esto permitió la eliminación de valores atípicos, Para tal fin se ha valido de un registro mucho mayor (Set/1980-Ago/2014). Además, se ha realizado gráficos de doble masa para la agrupación de estaciones con un comportamiento similar de precipitación, esto permitió luego la completación de información faltante por medio de estaciones vecinas homogéneas.

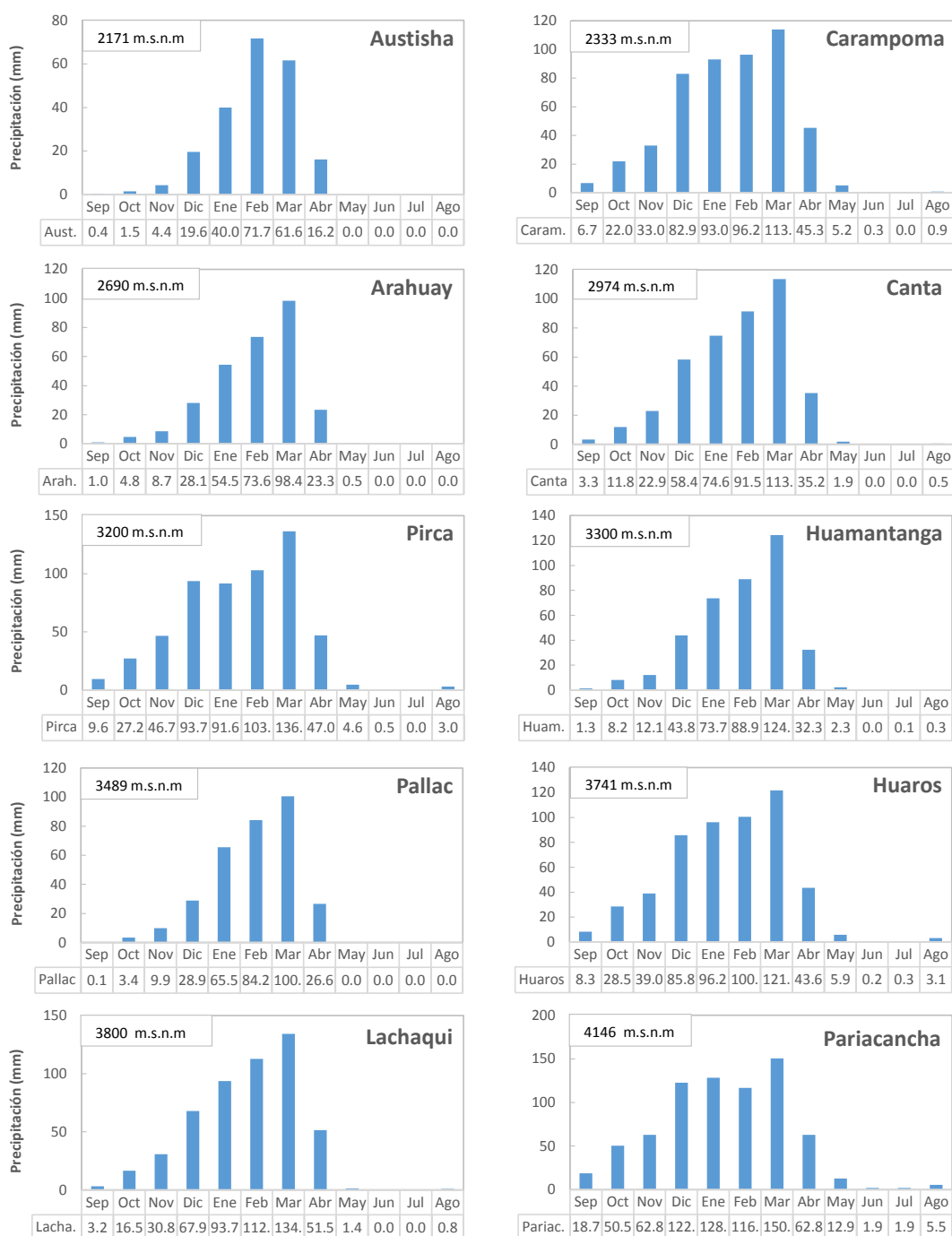
Para la completación de datos se empleó el paquete informático Wavelet Tranform for estimating Rainfall (WATER), desarrollado por el Centro Internacional de la Papa, el cual permite completar información de precipitación usando la teoría de las series Wavelet (Heidinger et al., 2012; Quiroz et al., 2011). Acerca de la información de temperatura esta ha sido completada por medio de la generación de un gradiente de temperatura a nivel mensual.

3.2.2. Registros de precipitación

A continuación se muestra el comportamiento multimensual de la precipitación (Figura 3.4). Al respecto se observa valores mayores a 150 mm para las estaciones ubicadas en la cabecera de la cuenca, como es el caso de Tingo, Milloc, Yantac y Marca,

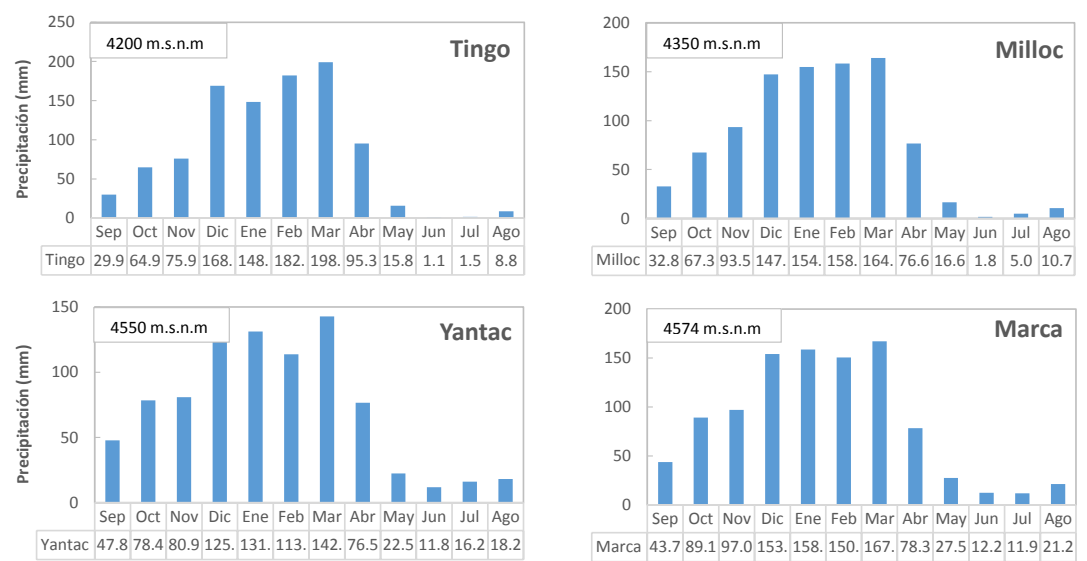
lo cual corrobora la dependencia marcada que existe entre la precipitación y la altitud.

En la [figura 3.11](#) se aprecia el comportamiento estacional de los registros multimensuales de precipitación, en donde se muestra que los registros de mayor precipitación se dan en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.



(a) Primera parte

Figura 3.11: Diagrama de barras, precipitación multimensual en la cuenca de estudio



(b) Segunda parte

Figura 3.11: Diagrama de barras, precipitación multimensual en la cuenca de estudio
Fuente: SENAMHI

Además, las estaciones ubicadas altitudinalmente por debajo de los 3000 *m.s.n.m.* presentan registros por debajo de los 120 *mm*. Por otro lado, los registros ubicados altitudinalmente por encima de los 4000 *m.s.n.m.* presentan registros por encima de los 150 *mm* para los meses más lluviosos, a excepción de la estación de Yantac.

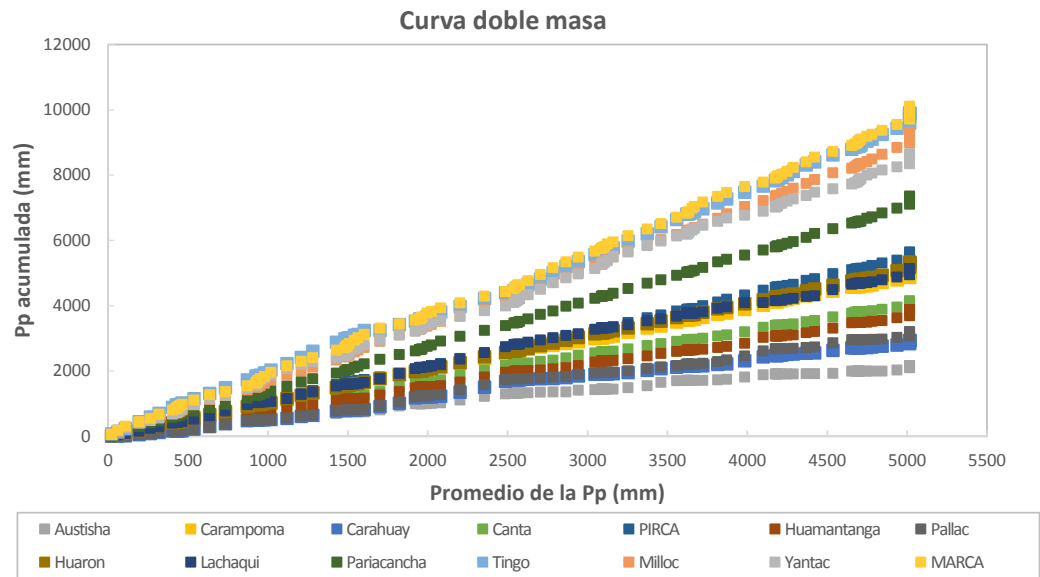


Figura 3.12: Diagrama de Curva doble masa
Fuente: Elaboración propia

En la [figura 3.12](#), se observa el diagrama de doble masa realizado para los 14 registros de precipitación. Cabe resaltar, que el objetivo del mismo no es corregir la

información, pues no se pretende manipular la información, interfiriendo en la variabilidad de los patrones de precipitación.

La gráfica muestra el comportamiento homogéneo de grupos de precipitación como lo son las estaciones de Marca, Yantac Milloc y Tingo. La conformación de grupos homogéneos de precipitación permitió poder completar los registros diarios de precipitación de las estaciones consideradas en la presente tesis.

3.2.3. Registros de temperatura

Para el modelamiento se consideró 7 registros de temperatura (Figura 3.13), de los cuales solo las estaciones de Huarangal, Canta y Huaros se encuentran inscritas en la cuenca del Chillón.

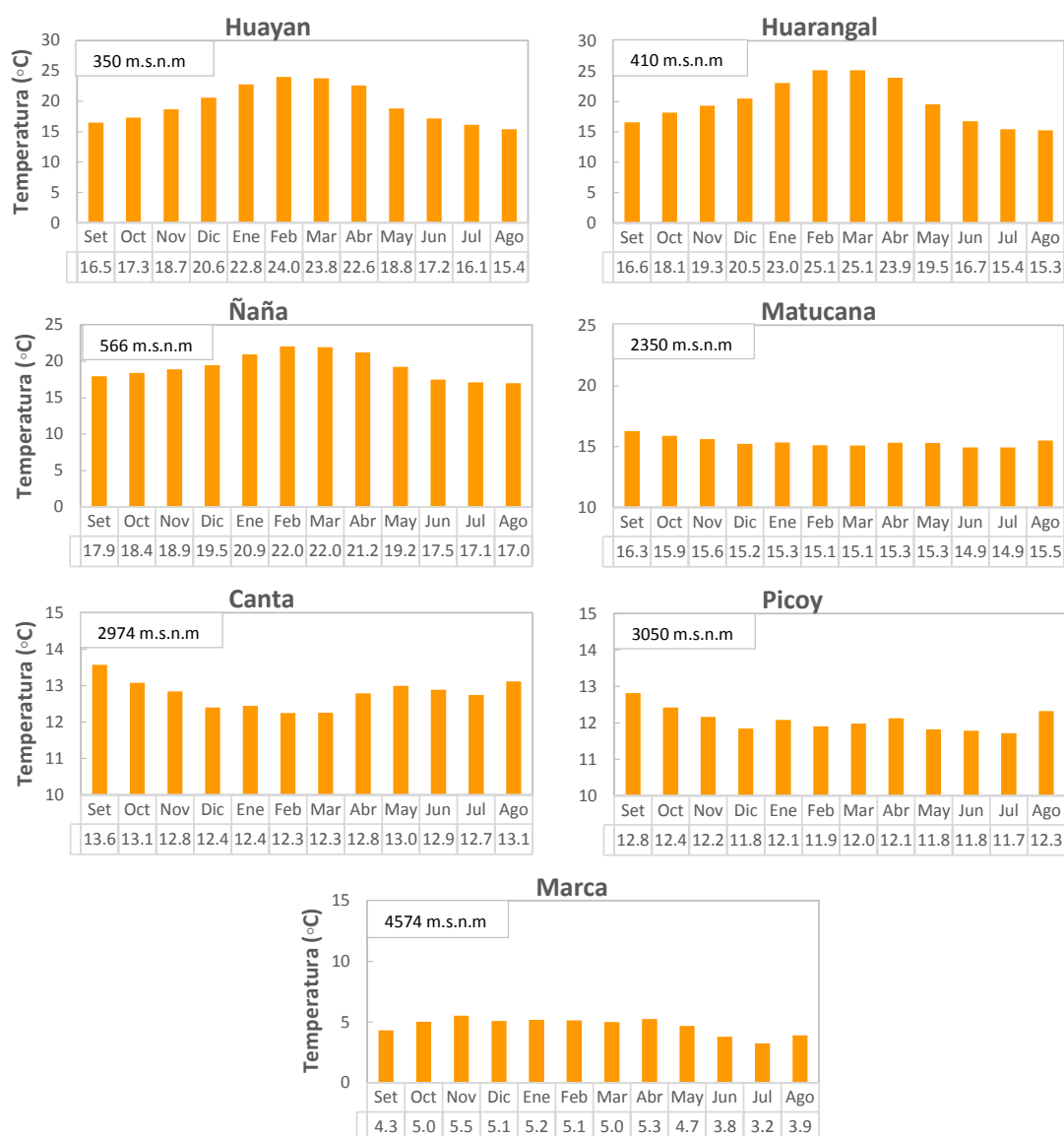
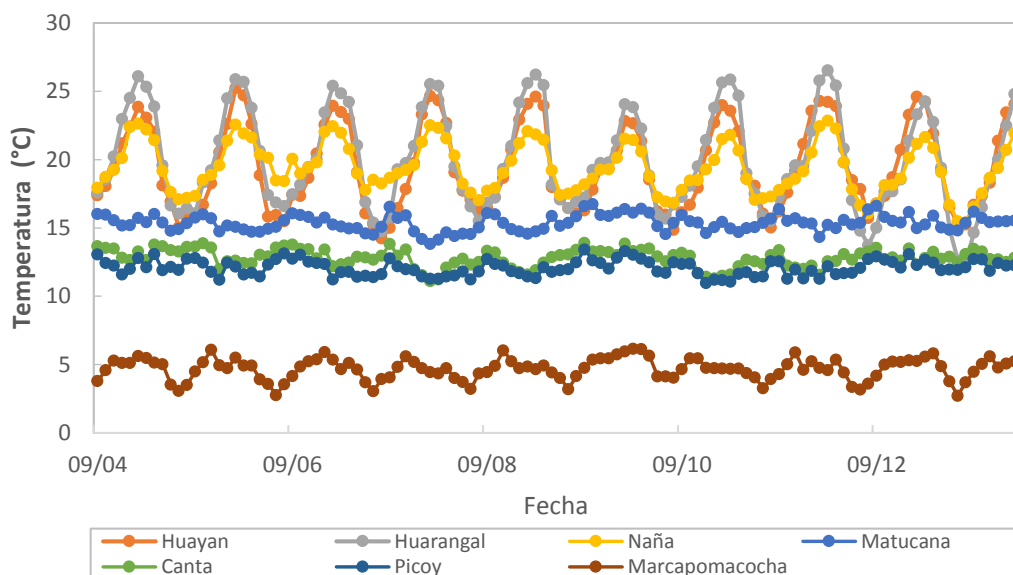


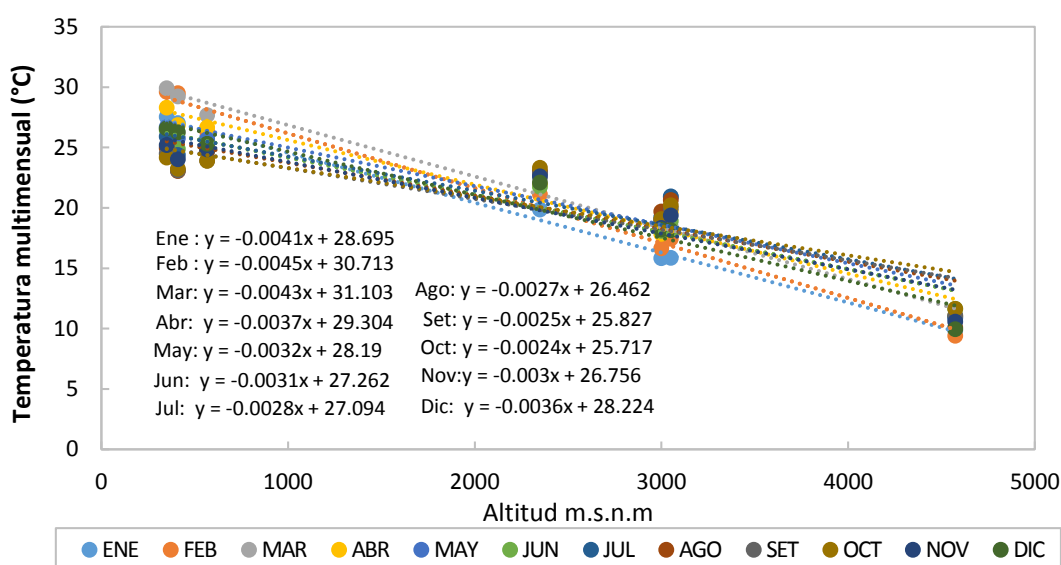
Figura 3.13: Diagrama de barras, temperatura multimensual en la cuenca de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Por esta razón se consideró estaciones cercanas al área de estudio, así tenemos a la estación de Huayan ubicado en la cuenca de Chancay-Huaral; las estaciones de Ñaña y Matucana ubicadas en la cuenca del Rímac y a la estación de Picoy ubicada en la cuenca de Huaura.



(a) Comportamiento mensual de temperatura para el periodo (set/04 Ago/14)



(b) Generación de gradientes de temperatura mensual

Figura 3.14: Análisis de la temperatura mensual

Fuente: Elaboración propia

La [figura 3.13](#) se observa el comportamiento promedio de la temperatura mensual, en ella se puede observar dos comportamientos marcados de la temperatura, para los registros por encima de los 2000 *m.s.n.m* se observa poca variación de los patrones de temperatura que registran valores por debajo de los 15° C. Además, observamos que en

la estación de Marcapomacocha ubicada a más de 4000 *m.s.n.m* se observa registros temperatura por debajo de los 5° C.

La [figura 3.14a](#) muestra el comportamiento de la temperatura mensual para el periodo de Set/04-Ago/14 en ella se observa un comportamiento similar de los registros de temperatura de las estaciones de Picoy, Matucana y Canta. Mientras que las temperaturas más altas se muestran en la estación de Huarangal ubicada a 410 *m.s.n.m*. Por otro lado, para la completación de temperatura mensual se ha generado gradientes de temperatura por mes, así en la [figura 3.14b](#) se observa las ecuaciones obtenidas para la completación de los vacíos de información.

3.2.4. Estaciones de aforo en la cuenca

La cuenca del Río Chillón presenta dos estaciones de aforo, la primera, estación Obrajillo, ubicada en la parte media de la cuenca y una segunda ubicada en el punto de desfogue de la cuenca de estudio, estación Puente Magdalena, (ver [Figura 3.10](#)). En la [figura 3.15](#) se presentan fotografías actuales de las estaciones hidrológicas, registradas en una visita de campo.



(a) Estación Obrajillo



(b) Estación Puente Magdalena

Figura 3.15: Fotografías actuales de las estaciones hidrológicas en la cuenca del Chillón

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.1. Estación hidrológica Obrajillo

La estación hidrológica Obrajillo se ubica políticamente en la provincia de Canta, distrito de San Buena Aventura a una altitud de 2710 *m.s.n.m* ([Figura 3.15a](#)). Cabe destacar que la estación Obrajillo se encuentra en la parte alta de la cuenca del Chillón, la misma sirvió como estación de control para la calibración de parte de la cuenca de estudio.

El registró de caudales es el más completo ([Figura 3.16](#)) teniendo algunos años faltantes como el de set/00–Ago/02. La información continua de caudales diarios es

posible gracias a la medición continua de niveles de agua y aforos puntuales que se realizan en todo el año para la actualización de la ecuación altura gasto en este punto de control.

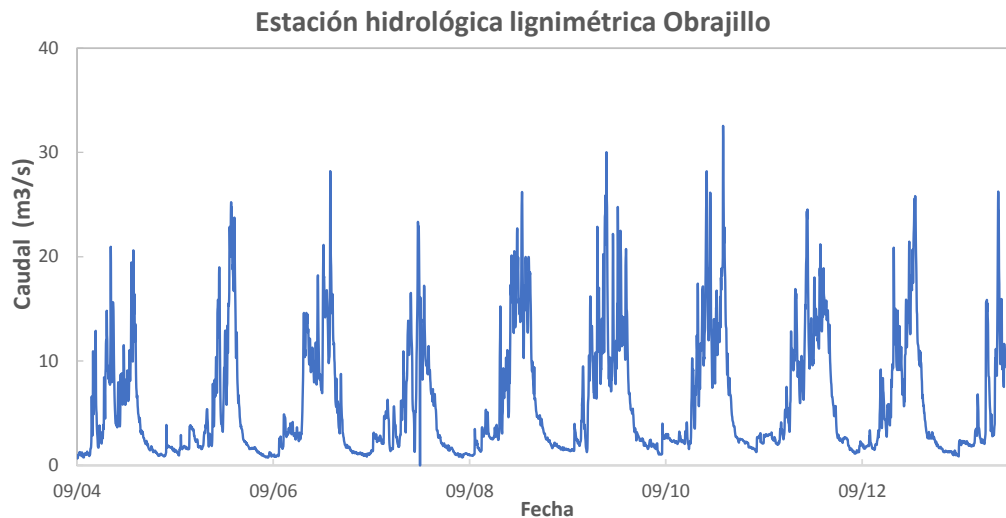


Figura 3.16: Caudales diarios Estación Puente Magdalena, periodo (set/04 - feb/14)
Fuente: Elaboración propia

3.2.4.2. Estación hidrológica Puente Magdalena

La estación Puente Magdalena se ubica en la provincia del Canta, distrito de Santa Rosa de Quives ([Figura 3.15b](#)). La estación hidrológica está ubicado en el punto de desfogue de la cuenca de estudio Magdalena.

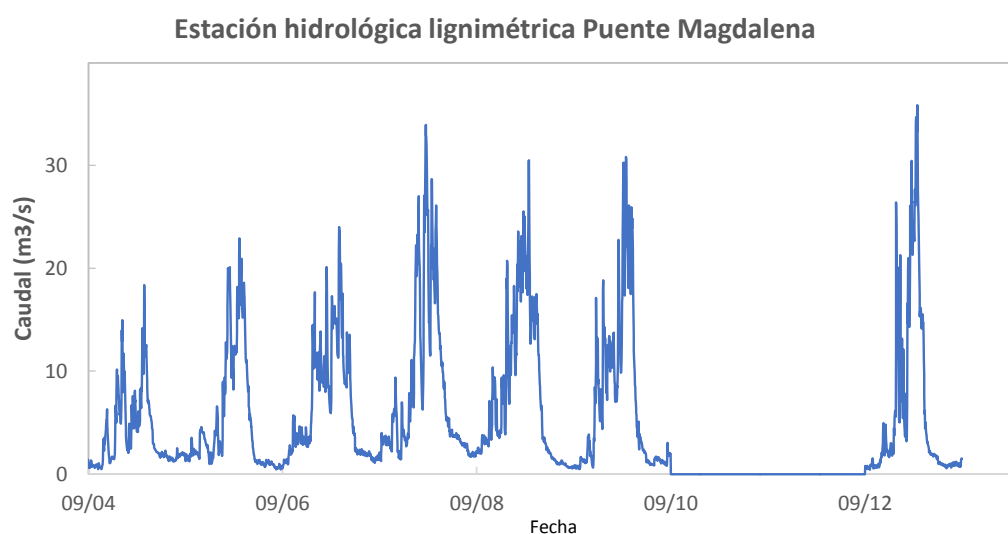


Figura 3.17: Caudales diarios Estación Puente Magdalena, periodo (set/04 - feb/14)
Fuente: Elaboración propia

El registro de caudales diarios de la estación Puente Magdalena presenta datos faltantes ([Figura 3.17](#)), en particular para el periodo de estudio se observa valores no medidos entre los meses de Set/10 - Ago/12. La falta de registro de descargas en estos años dificultó la adecuación de los modelos. Sin embargo, para salvar este impase se definió el periodo de calibración de set/04 - Ago/10. Así, se adecuaron los modelos tomando el registro continuo más largo de la estación Puente Magdalena.

3.2.5. Discusión: tratamiento de la información meteorológica

El comportamiento de la precipitación a paso diario es aleatorio y no necesariamente presenta un patrón definido. En consecuencia, se realizó un análisis exploratorio de la información diaria eliminando valores atípicos de precipitación. Para este propósito, se tomó como criterio para la eliminación de datos diarios, los valores extremos que se alejan de los valores máximos diarios y que no representen a la serie de caudales diarios (transformados en lámina de agua). Además, se realizó una comparación con estaciones vecinas a partir de registros con un patrón similar de precipitación. Esto fue posible a partir de un análisis doble masa realizado para los 14 registros de precipitación a nivel anual. En el esquema de doble masa (ver [Figura 3.12](#)) se puede observar ligeros cambios de pendiente en algunas estaciones (como es el caso de Arahua y Huamantanga). Sin embargo, no es objetivo de este estudio corregir esta información, pues podría afectar el comportamiento real de la precipitación diaria interfiriendo en la calidad de la simulación hidrológica.

Para la completación de registros de precipitación faltante se empleó la teoría de Wavelet ([Heidinger et al., 2012](#); [Quiroz et al., 2011](#)), como se mencionó anteriormente. Esto permitió completar información faltante a partir de una estación vecina que presente un comportamiento homogéneo. Por otro lado, se ha generado gradientes de precipitación multianual y gradientes de temperatura mensual ([Figura 3.14b](#)); respecto a estos gráficos se observa que existe un comportamiento directamente proporcional a la altitud para la precipitación e inversamente proporcional para la temperatura. En esta última variable el patrón es muy marcado y tomando en cuenta la baja densidad de registros se ha optado por generar registros de temperatura mensual para las estaciones restantes.

Las series de temperatura mensual generadas sirvieron como insumo para la determinación de la evapotranspiración (ETP). Acerca del cálculo de la ETP, se optó por el método indirecto de Turc el cual solo requiere de temperatura media. Las series de evaporación diaria fueron generadas a partir de datos mensuales de temperatura asumiendo que la temperatura se mantiene constante en todo el mes. El cálculo de la ETP ha sido determinado a partir de la plataforma empleada para el modelamiento hidrológico RS MINERVE, este cálculo es un proceso interno del software.

En resumen, como entrada para el modelamiento hidrológico se eliminaron los

valores atípicos de precipitación usando un criterio de comparación entre estaciones y se completaron los registros faltantes. Además, se completó los registros de temperatura siguiendo un criterio de gradiente mensual. Por último, se empleó el método de Turc para la determinación de la ETP. Así, las variables climáticas de precipitación, temperatura y ETP fueron empleadas como entrada a los modelos hidrológicos.

3.3. Metodología seguida en la investigación

El desarrollo de la presente tesis, como muestra el esquema de la [figura 3.18](#), se inicia con la recopilación y análisis de la información, así como la delimitación del área de estudio. Por otro lado, se realizó un análisis exploratorio de la información hidrometeorológica para luego discutir el procedimiento empleado para el llenado de datos faltantes (el cual fue abarcado en el [Apartado 3.2](#)).

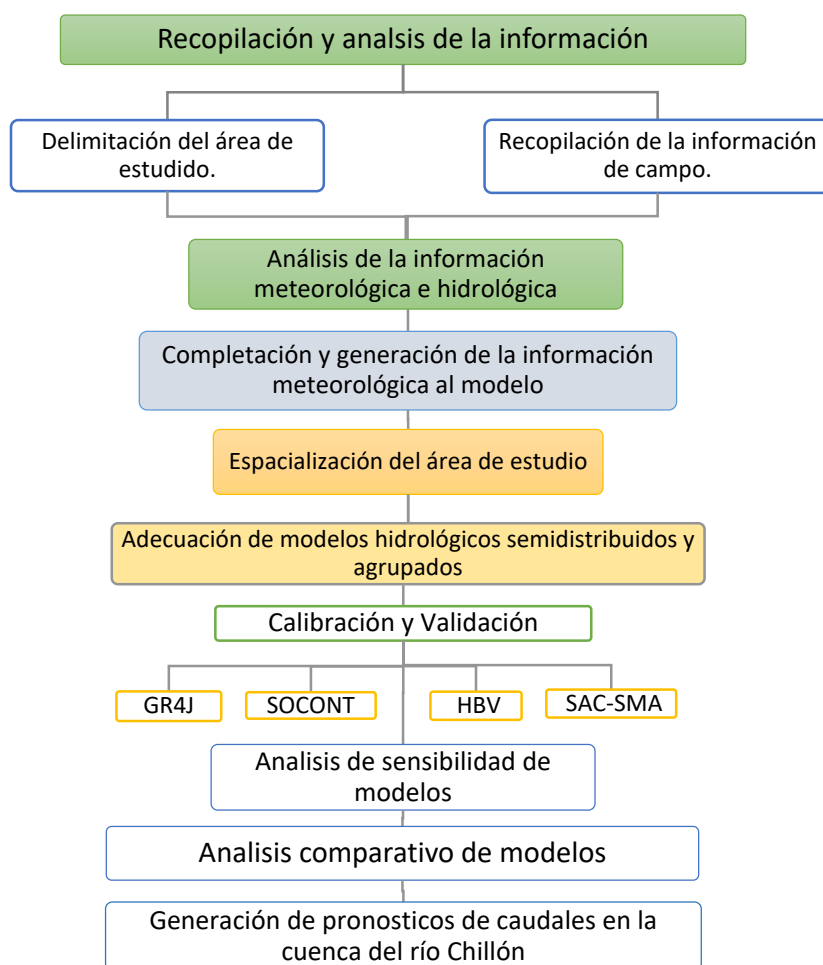


Figura 3.18: Diagrama de la metodología

Fuente: Elaboración propia

Para la adecuación de los modelos propuestos se realizó una espacialización del

área de estudio. Una primera división fue por subcuencas, para luego desagregarlas en bandas altitudinales que describieran la situación y morfología del área de estudio. A continuación se adecuaron los modelos hidrológicos empleando la plataforma RS MINERVE para posteriormente calibrar sus parámetros (considerando zonas homogéneas), validar, analizar y comparar los resultados. Además, se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros encontrados analizando e interpretando los resultados encontrados. Finalmente, se elaboró un protocolo operacional del pronóstico de caudales acoplados a partir de la previsión de lluvia de los modelos ETA-SENAMHI y WRF.

Cabe resaltar que se consideraron dos esquemas de modelamiento el primero de ellos con un enfoque semidistribuido, del cual se detallan los criterios asumidos para su esquematización y el segundo con un enfoque agrupado, siendo este último de directa adecuación.

3.4. Espacialización del área de estudio

La modelización hidrológica semidistribuida es posible gracias a la espacialización del área de estudio, subcuenca Magdalena (ver [Figura 3.9](#)). A continuación se presentan los tres criterios de división que se realizaron en la presente tesis con el fin de adecuar los modelos lluvia-escorrentía propuestos.

3.4.1. División del área de estudio en subcuencas

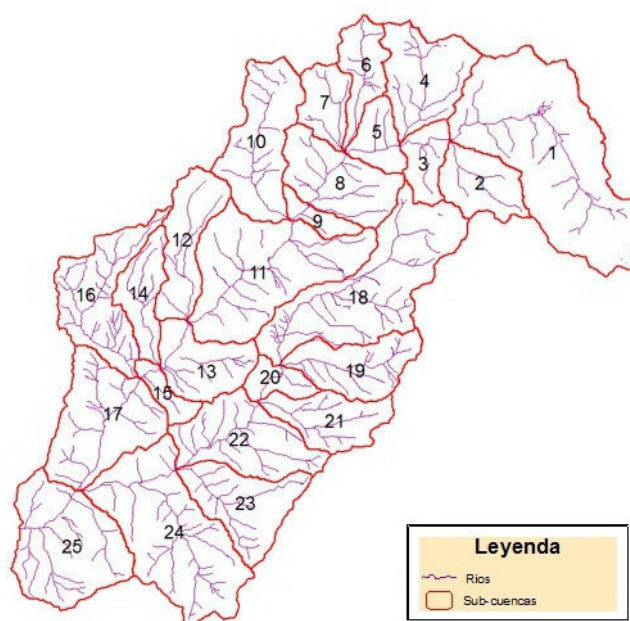


Figura 3.19: Divisoria de subcuencas para el área de estudio

Fuente: Elaboración propia

La cuenca de estudio ha sido dividida en 25 subcuencas (Figura 3.19) de las cuales 12 son intercuenas, esta división fue tomada en cuenta con el propósito de conocer la escorrentía en estas subcuencas, así como evaluar el comportamiento de los modelos lluvia-escorrentía propuestos.

3.4.2. ¿Qué es una banda altitudinal?

Una banda altitudinal es una extensión de terreno delimitada por una variación de altitud y por las fronteras de las subcuencas delimitadas previamente en el área de estudio. Ella es concebida como una unidad hidrológica aportante, en donde se concibe los procesos de transformación entre la precipitación y la generación de escorrentía.

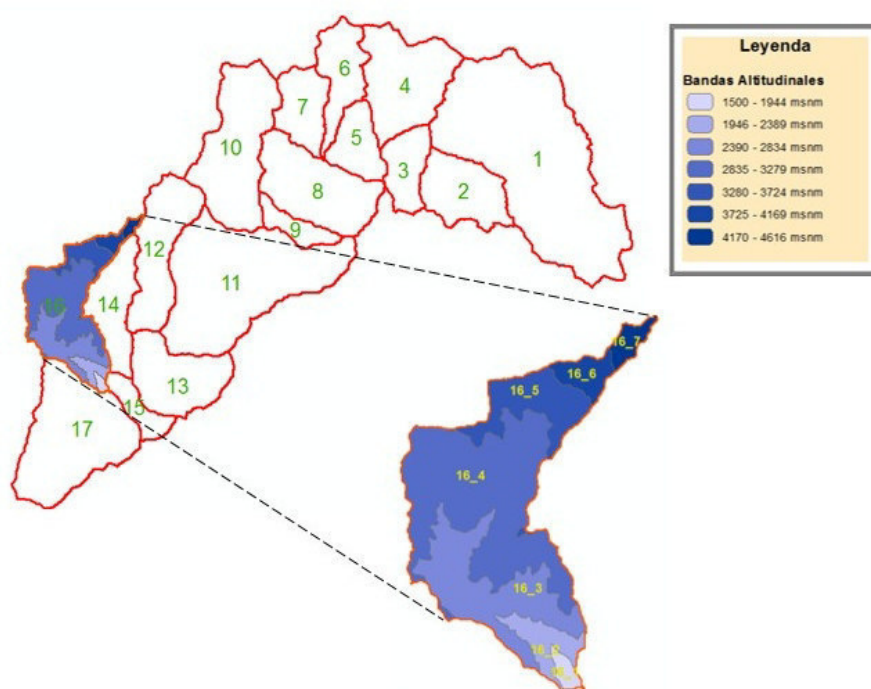


Figura 3.20: Delimitación por bandas para una subcuenca en RS MINERVE

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.20 se observa la discretización de la subcuenca 16 (ver también Figura 3.21) por bandas altitudinales con una variación de 500 m (esta discretización es posible en RS MINERVE usando toolbox RS Gis). La subcuenca que pertenece a la subcuenca alto Chillón está representada por siete bandas altitudinales donde en cada una de ellas se generará escorrentía a partir de la esquematización de un modelo hidrológico que el usuario defina. La confluencia de estas escorrentías formaran el caudal que drena en el punto de desfogue de la subcuenca.

3.4.3. División del área de estudio en bandas altitudinales

A partir de las 25 subcuencas delimitadas en el área de estudio se generaron 122 bandas altitudinales cada 500 m (Figura 3.21 y Tabla 3.5).

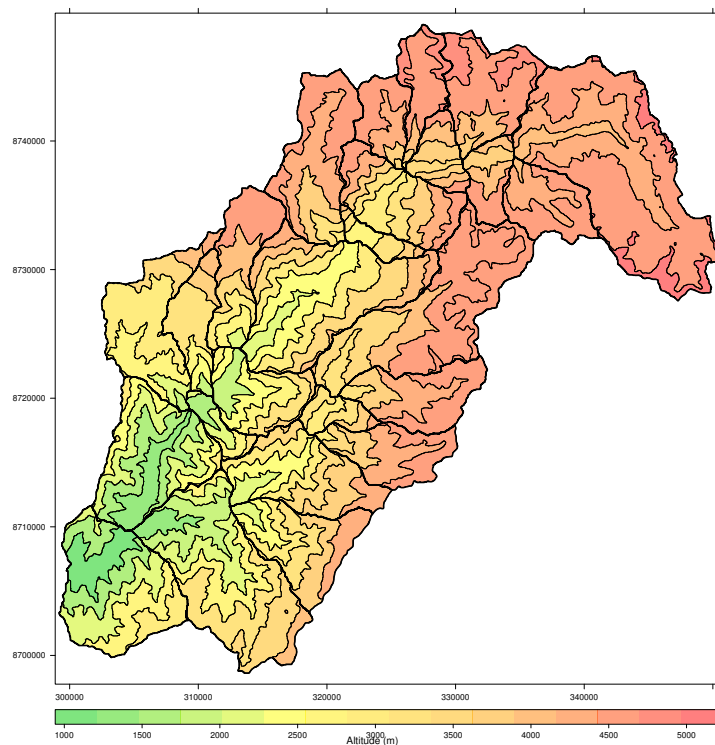


Figura 3.21: Delimitación por subcuencas y bandas altitudinales para área de estudio

Fuente: Salida del RS Gis

Tabla 3.5: Resumen, subcuencas y bandas altitudinales

| Área de estudio | Código | Tipo | N ° de Banda | Área [m ²] | Código | Tipo | N ° de Banda | Área [m ²] |
|---------------------|--------|-------------|--------------|------------------------|--------|-------------|--------------|------------------------|
| Subcuenca Magdalena | 1 | Subcuenca | 4 | 152.2 | 14 | Subcuenca | 6 | 27.4 |
| | 2 | Subcuenca | 3 | 31.9 | 15 | Intercuenca | 4 | 11.4 |
| | 3 | Intercuenca | 3 | 19.3 | 16 | Subcuenca | 7 | 55.4 |
| | 4 | Subcuenca | 4 | 49.3 | 17 | Intercuenca | 5 | 68.8 |
| | 5 | Intercuenca | 4 | 19.3 | 18 | Subcuenca | 5 | 100.9 |
| | 6 | Subcuenca | 5 | 25.4 | 19 | Subcuenca | 4 | 40.5 |
| | 7 | Subcuenca | 4 | 22.6 | 20 | Intercuenca | 4 | 13.6 |
| | 8 | Intercuenca | 5 | 48.5 | 21 | Subcuenca | 5 | 35.1 |
| | 9 | Intercuenca | 4 | 10.8 | 22 | Intercuenca | 6 | 56.9 |
| | 10 | Subcuenca | 5 | 59.6 | 23 | Subcuenca | 6 | 47.1 |
| | 11 | Intercuenca | 6 | 99.9 | 24 | Intercuenca | 7 | 103.8 |
| | 12 | Subcuenca | 6 | 40.7 | 25 | Intercuenca | 5 | 75.9 |
| | 13 | Intercuenca | 5 | 37.0 | | | | |
| Total | | | 58 | 616.7 | Total | | 64 | 636.8 |
| | | | Total | | | | | 122 1253.5 |

Fuente: Elaboración propia

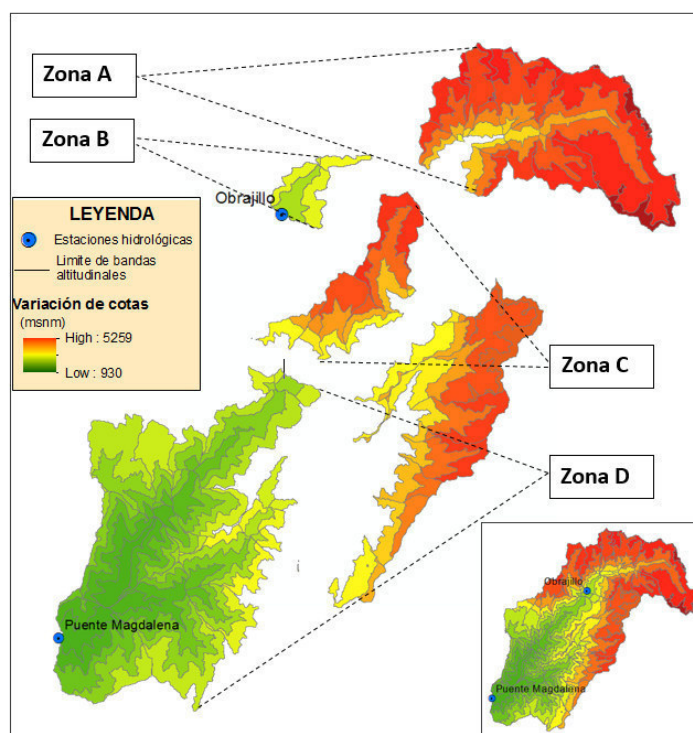
3.4.4. ¿Qué es una zona?

Una zona es un conjunto de bandas altitudinales en un rango de altitud definido por el modelador, esta agrupación responde en general a la formación de áreas homogéneas en su climatología, asumiendo un criterio lineal del comportamiento de la precipitación respecto a la altitud. Cabe señalar que es posible considerar otro criterio de agrupamiento, sin embargo es responsabilidad del modelador definirla. Por lo tanto, una zona presenta el mismo valor en sus parámetros para cada banda de altitud.

3.4.5. Formación de zonas homogéneas

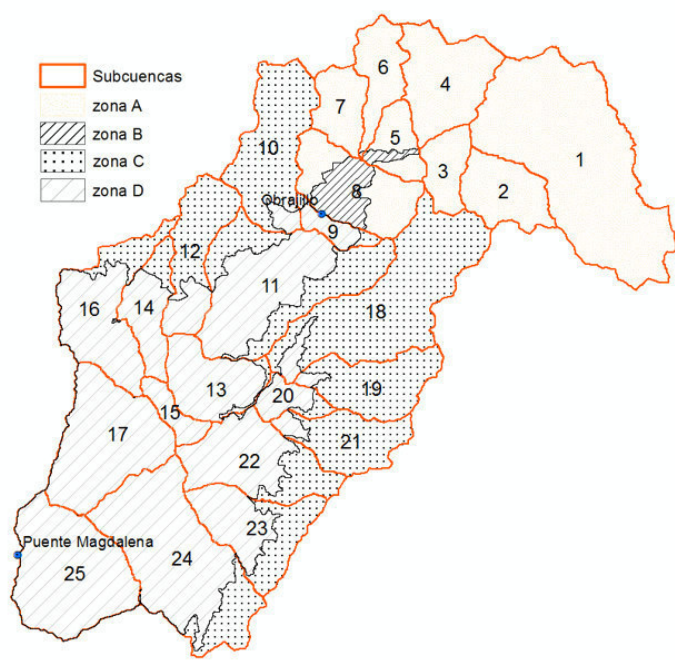
La cuenca de estudio fue estructurada en 4 zonas (Figura 3.22), las dos primeras zonas (A y B) conforman la cabecera del área de estudio hasta el primer punto de aforo Obrajillo. Las dos zonas C y D conforman el restante de bandas altitudinales hasta el punto de aforo aguas debajo de la cuenca (Estación hidrológica Puente Magdalena).

Al respecto, de la formación de cuatro zonas, se tomó en cuenta el comportamiento de la gradiente multianual de precipitación en la cuenca de estudio. En donde se encontró una dependencia lineal entre la precipitación y la altitud muy marcada desde los 5000 *m.s.n.m* hasta los 3200 *m.s.n.m*, el cual representa a las zonas A y C. Por otro lado, en la parte media de la cuenca se encontró una tendencia más fuerte desde los 1000 *m.s.n.m* hasta los 3200 *m.s.n.m*, el cual representa a la zona B y D (Figura 3.23).



(a) Zonificación del área de estudio a nivel de bandas altitudinales

Figura 3.22: Desagregación espacial del área estudio en bandas, zonas y subcuencas



(b) Zonificación del área de estudio a nivel de subcuencas

Figura 3.22: Desagregación espacial del área estudio en bandas, zonas y subcuencas

Fuente: Elaboración propia

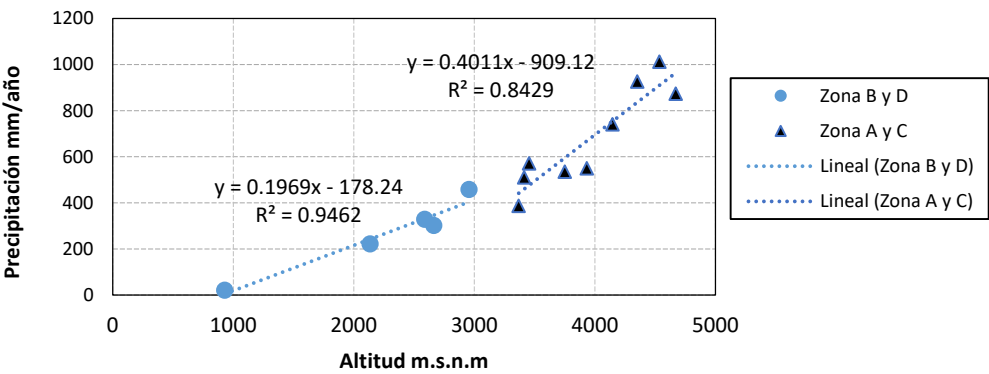


Figura 3.23: Comportamiento de la precipitación en área de estudio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Resumen, subcuencas, bandas altitudinales y gradientes de precipitación

| Zona | N° de bandas | | Árae (m ²) | Gradiente de precipitación (mm) | Altitud (msnm) |
|-----------------|--------------|----|---------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Área de estudio | A | 28 | 347418952.2 | 0.4011 | 5000-3200 |
| | B | 5 | 21191527.7 | 0.1969 | 3200-1000 |
| | C | 34 | 368580769.0 | 0.4011 | 5000-3200 |
| | D | 55 | 516357980.3 | 0.1969 | 3200-1000 |
| Total | 122 | | 1253549229.0 | | |

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 3.23](#) se observa la gradiente de precipitación asumida y el área de influencia para cada zona, el cual está en función de la altitud y la gradiente de precipitación.

3.5. Adecuación de un modelo semidistribuido

Se presenta la adecuación del área de estudio para los enfoques de modelamiento propuesto (agrupado y semidistribuido), así como los criterios y consideraciones para el proceso de calibración de los modelos propuestos.

3.5.1. Adecuación de una subcuenca

Como un primer procedimiento se esquematizó la subcuenca número 16 del área de estudio ([Figura 3.24](#)). La subcuenca número 16, perteneciente a la subcuenta alto Chillón, está representada por siete bandas altitudinales donde en cada una de ellas se generó escorrentía a partir de la esquematización de un modelo hidrológico. Por lo que, la suma de estas escorrentías formaron el caudal que drenara en el punto de desfogue de la subcuenca. Cabe resaltar, que los procesos de transformación lluvia-escorrentía se realizan a nivel de banda altitudinal, siendo posible pues el software interpola la información de entrada (precipitación, temperatura y Evapotranspiración) en el centro de gravedad de cada banda altitudinal. La información interpolada es representada por el objeto base *estación virtual* (ver [Figura 2.9](#)), este objeto proporciona la información de entrada al modelo hidrológico.

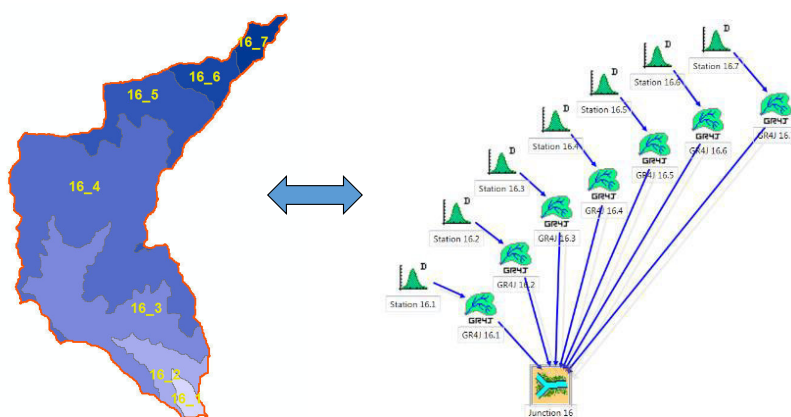


Figura 3.24: Representación de una subcuenca segmentada en bandas en RS MINERVE

Fuente: Elaboración propia

Cada banda altitudinal es representada por un modelo hidrológico, siendo en este caso el *objeto* equivalente al modelo GR4J para la figura. Cada *objeto* recibe información meteorológica a partir de la conexión de un *estación virtual*. La salida de cada modelo se conecta a un *objeto unión* conformando el punto de desfogue de la subcuenca.

3.5.2. Adecuación del área de estudio

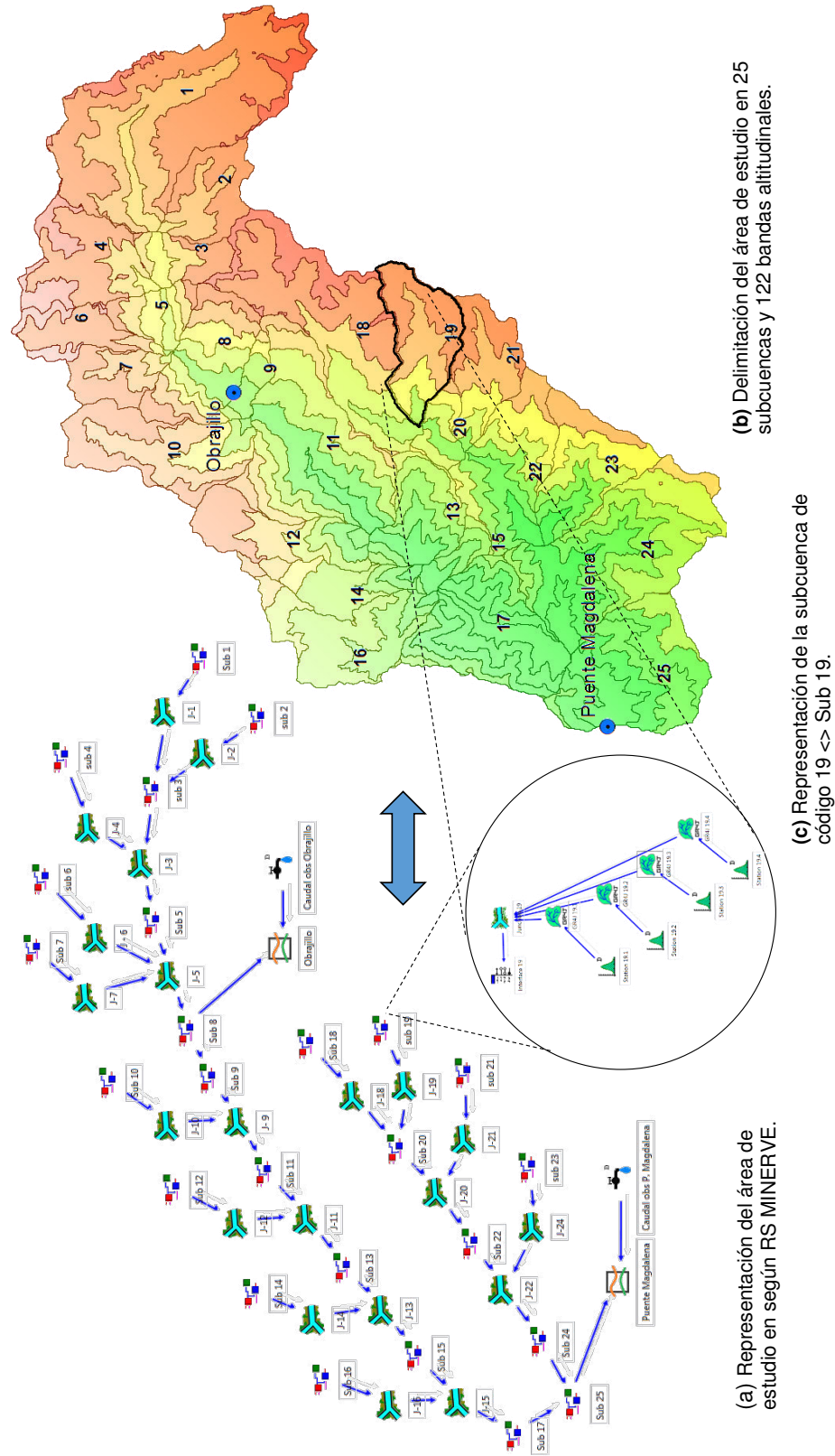


Figura 3.25: Adecuación de un modelo semidistribuido en la cuenca de estudio
Fuente: Astorayme et al. (2015)

En la [figura 3.25](#) se observa la configuración de las 25 subcuencas por elementos *submodelos*, dentro de ellas se esquematizaron las bandas de altitud (122 en total) por medio de *objeto base* que representan a un modelo hidrológico.

La esquematización del modelo en RS Minerve fue elaborada para cada modelo hidrológico propuesto. Con respecto a la esquematización de la cuenca de estudio se usó también el objeto comparador ([Figura 3.25a](#)), este representa a los puntos de control en la cuenca, tanto el caudal simulado como el observado son cargados en este objeto. Además, se procedió a generar una data base el cual contiene información meteorológica e hidrológica, con la finalidad de conectarse con el modelo.

3.5.3. Acerca de la información de entrada a los modelos

La información hidro-meteorológica fue almacenada en una base datos, el cual contiene los 14 registros de precipitación analizados previamente y completados. Además, contiene 7 registros de temperatura (ver [Tabla 3.4](#) y [Figura 3.10](#)). Para la generación de temperatura diaria se han asumido los valores mensuales, tomando en consideración que la temperatura no presenta gran variación. Con respecto a la evapotranspiración, esta fue generada para cada registro de temperatura, el cual presenta tres métodos de evapotranspiración, para la presente tesis se usó el método propuesto por [Turc \(1961\)](#), la información fue generada internamente en RS MINERVE.

Acerca del método de interpolación usado para la espacialización de las variables meteorológicas, se optó por el método de ponderación por distancias (IDW).

Cabe resaltar que los modelos lluvia-escorrentía GR4J y SAC requieren como información de entrada, precipitación y ETP diaria, en tanto que los modelos SOCONT y HBV requieren además información de temperatura ([Tabla 3.7](#)), debido al paquete de nieve presente en su estructura (ver [Figuras 2.5](#) y [2.6](#)).

Tabla 3.7: Información de entrada requerida por los modelos propuestos

| Modelo lluvia-escorrentia | Variables de entrada |
|---------------------------|--|
| <i>GR4J</i> | Precipitación y evapotranspiración. |
| <i>SAC – SMA</i> | Precipitación y evapotranspiración. |
| <i>SOCONT</i> | Precipitación, temperatura y evapotranspiración. |
| <i>HBV</i> | Precipitación, temperatura y evapotranspiración. |

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Periodos asumidos para la calibración y validación

El periodo de calibración fue definido desde Set-2004 a Ene-2011, cabe resaltar que a partir de esta fecha existe un vacío de información en la estación Hidrológica Puente Magdalena. El periodo de Validación varía con respecto a las estaciones de aforo (Tabla 3.8), a saber: para la estación de Obrajillo, que presenta una serie continua de información y está ubicada en la parte alta de la cuenca, se tomó el periodo: Feb-2011 a Feb-2014; y para la estación ubicada en el punto de desfogue de la cuenca de estudio (Puente Magdalena) se tomó el periodo: Set-2012-Feb-2014.

Tabla 3.8: Periodo de validación y calibración considerados en la adecuación

| Estaciones hidrológica | Calibración | | Validación | |
|------------------------|----------------|------------|----------------|--------------|
| | Inicio | Final | Inicio | Final |
| Obrajillo | Setiembre-2004 | Enero-2011 | Febrero-2011 | Febrero-2014 |
| Puente Magdalena | Setiembre-2004 | Enero-2011 | Setiembre-2012 | Febrero-2014 |

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Acerca del proceso de calibración automática

Los procesos de calibración fueron posible usando el Toolbox RS expert de MINERVE, el cual presenta dos métodos de calibración automática multiobjetivo, para este estudio se ha usado el método del Shuffled complex evolution – University of Arizona (SCE-UA), propuesto por Duan et al. (1993). Para mayor información acerca del fundamento matemático de este método se sugiere revisar las bibliografías citadas.

La función objetivo se centró en cuatro indicadores estadísticos de eficiencia de uso extendido:

- El coeficiente de Nash (Nash and Sutcliffe, 1970) para evaluar la predicción de la series simuladas en modelos hidrológicos.
- El coeficiente Nash para valores logarítmicos (Nash-In), una variante del anterior que evalúa los caudales bajos (Krause et al., 2005).
- Error relativo de la raíz cuadrática media (RRMSE) (Feyen et al., 2000) el cual permite evaluar el error en la aproximación de la serie simulada respecto a la observada.
- El coeficiente de Pearson (r), el cual permite cuantificar cuanto explica la variable simulada a la observada (Aghakouchak and Habib, 2010)

Los indicadores estadísticos de eficiencias listados fueron priorizándo en el orden descrito arriba con pesos de 40, 30, 20 y 10 % respectivamente, para los procesos de calibración (Ec. 3.1). Por otro lado, para las comparaciones modelo a modelo se empleó también el indicador estadístico de eficiencia volumen relativo del sesgo o *Bias*, e.g. Ajami et al. (2004).

3.5.6. Acerca del número de parámetros a calibrar

En una calibración automática es posible calibrar todos los parámetros de un modelo siempre y cuando presenten pocos parámetros (e.g. GR4J). Por otro lado, en modelos complejos (e.g. SAC) el proceso de calibración debe realizarse por partes, considerando un grupo de parámetros para luego proceder con los restantes, debido a la gran cantidad de ellos (Tabla 3.9).

Tabla 3.9: Número de parámetros para los modelos hidrológicos propuestos

| Modelo lluvia-escorrentia | N ° de parámetros | N ° Condiciones iniciales |
|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| <i>GR4J</i> | 4 | 2 |
| <i>SOCONT</i> | 6 | 4 |
| <i>HBV</i> | 11 | 5 |
| <i>SAC – SMA</i> | 16 | 6 |

Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Metodología seguida: calibración de un modelo semidistribuido

Para la calibración se realizó ensayos manuales para la generación de parámetros iniciales los cuales sirvieron de entrada a los modelos. Subsecuentemente, se realizaron procesos de calibración automática multiobjetivo, donde la Función Objetivo (FO) maximiza los indicadores estadísticos de eficiencia Nash, Nahts-In y coeficiente de Pearson (R) y a la vez minimiza los errores del RRMSE como indica la Ec. 3.1

$$FO = \max(Nash.w_1 + Nash - \ln.w_2 + R.w_3 - RRMSE.w_4) \quad 3.1$$

Donde *FO* es la función objetivo, el cual relaciona los cuatro indicadores estadísticos de eficiencia propuestos.

Como primer paso, se calibró los parámetros de la zonas A y B (ver Figura 3.26 cuya escorrentía generada por las bandas inscritas en estas zonas representan a la escorrentía medida en la estación hidrológica de Obrajillo. Inicialmente se asumió ambas zonas como un solo grupo para luego hacer variar los parámetros más sensibles como los que representan a los reservorios de cada modelo calibrando ambas zonas a la vez. Así, se obtuvo un grupo de parámetros independiente para las zonas A y B.

Como segundo paso, se calibró las zonas C y D siguiendo el mismo procedimiento antes descrito, claro está que estas zonas fueron calibradas para representar la serie simulada en la parte final de la cuenca, estación hidrológica Puente Magdalena.

Finalmente, se realizaron proceso de calibración en toda la cuenca maximizando la función objetivo (*FO*) en las dos estaciones de aforo a la vez. Para tal fin, se tomó los parámetros de los pasos anteriores para inicializar los procesos de calibración

considerando primero toda la cuenca como un solo grupo de parámetros para luego volver a calibrar los restantes.

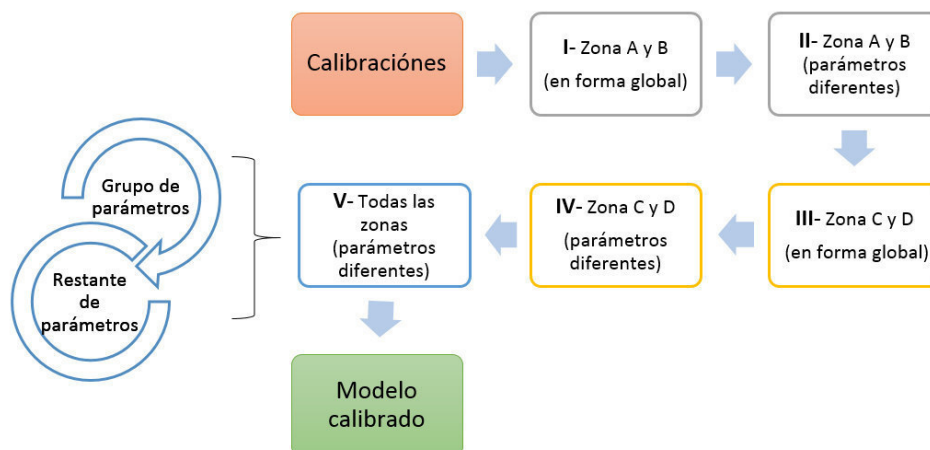


Figura 3.26: Esquema de la metodología seguida para la calibración

Fuente: Astorayme et al. (2015)

3.5.8. Metodología seguida: validación de un modelo semidistribuido

Los procesos de validación tanto para los modelos con enfoque agrupado y semidistribuidos, fueron posibles manteniendo constante los parámetros previamente determinados en el proceso de calibración. Por otro lado, los procesos de validación fueron emplazados a un periodo subsiguiente al periodo de calibración (Tabla 3.8) con el fin de evaluar el desempeño de los modelos propuestos en una fase futura por medio de indicadores estadísticos de eficiencia, descritos anteriormente.

3.6. Adecuación de un modelo agrupado

En la presente tesis se ha tomado en cuenta además de la adecuación de modelos semidistribuidos, a los modelos agrupados, con el fin de evaluar y comparar el desempeño de ambos enfoques de modelamiento.

3.6.1. Adecuación del área de estudio

La adecuación de los modelos con enfoque agrupado fue realizada siguiendo el criterio de espacialidad que este enfoque considera, así los procesos lluvia-escorrentía son uniformes para toda la hoya (ver Apartado 2.1.4). Por lo que no es posible conocer las salidas en subcuencas o salidas intermedias, sin embargo el gasto computacional es mucho menor que los modelos semidistribuidos.

En la figura 3.27 se observa la esquematización del modelo GR4J con un enfoque agrupado en RS MINERVE. Al respecto, su adecuación y uso es relativamente fácil,

es así que se han adecuado los modelos GR4J, SOCONT, HBV y SAC en la cuenca de estudio, para luego evaluar la respuesta de cada uno de los modelos. Además, se compararon cualitativamente y cuantitativamente con el enfoque de modelamiento semidistribuido descrito en páginas anteriores.

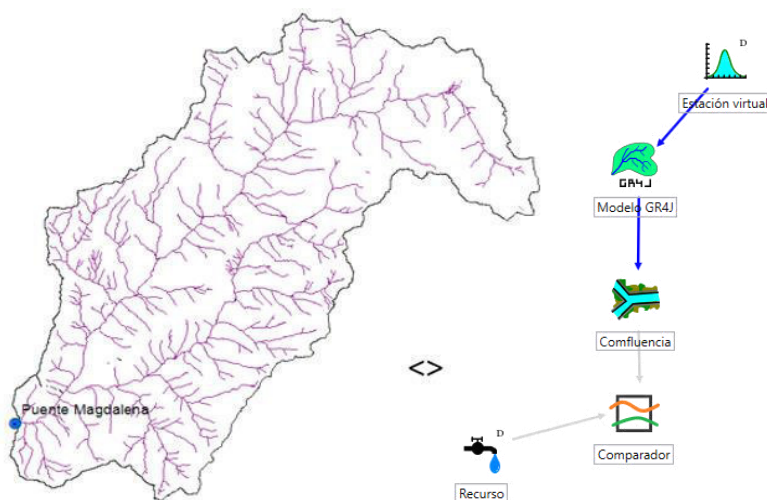


Figura 3.27: Adecuación de un modelo agrupado en la cuenca de estudio

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Metodología seguida: calibración y validación de un modelo agrupado

Acerca de la calibración de los modelos con enfoque agrupado, estos siguieron también un criterio de calibración inicialmente manual para luego someterlos a una calibración automática multiobjetivo. Para evaluar el desempeño de los modelos, se empleó también 04 indicadores estadísticos de eficiencia, siendo los empleados para los modelos semidistribuidos, con el fin de poder comparar ambos enfoques de modelamiento.

El criterio seguido para los procesos de calibración fueron los mismos que para los modelos semidistribuido

Capítulo 4

Análisis y discusión de resultados

“En algún sitio algo increíble espera ser descubierto.”

—Carl Sagan

En este capítulo se presenta los resultados y discusiones de los procesos de calibración y validación de los modelos GR4J, SOCONT, HBV y SAC para los dos enfoques de modelamiento propuesto: semidistribuido y agrupado. En donde se realizó una evaluación cualitativa y cuantitativa modelo a modelo. Además, un análisis de sensibilidad de parámetros fue realizado para cada modelo propuesto. Para tal fin, se consideró a los modelos con enfoque agrupado para la realización del análisis de sensibilidad, esto último es factible pues sus parámetros no están espacializados, como si ocurre en los modelos con enfoque semidistribuido. El análisis de sensibilidad permitió evaluar que parámetros influyen más en la eficiencia de los modelos propuestos, siendo de importancia en futuras calibraciones para ambos enfoques de modelamiento.

Por otro lado, se presenta un análisis y evaluación comparativa para los dos enfoques de modelamiento propuesto, en donde se realizó esquemas de comparación, a saber: tablas comparativas de indicadores estadísticos de eficiencia, hidrogramas y tablas comparativas de caudales diarios y mensuales, diagramas de dispersión, curva de duración diaria y percentiles.

Finalmente, se describe los procesos seguidos para la propuesta del protocolo operacional de pronóstico de caudales para la cuenca del río Chillón, presentando ensayos de pronóstico de caudales a partir de la previsión de lluvia de los modelos Eta-SENAMHI y WRF, con el fin de evaluar el desempeño de los modelos en la fase de predicción.

4.1. Calibración y Validación

Se presenta los resultados de los procesos de calibración de los modelos hidrológicos propuestos en la presente tesis. Al respecto, para la adecuación de los modelos con enfoque semidistribuido se presentan también la salida intermedia de hidrograma de

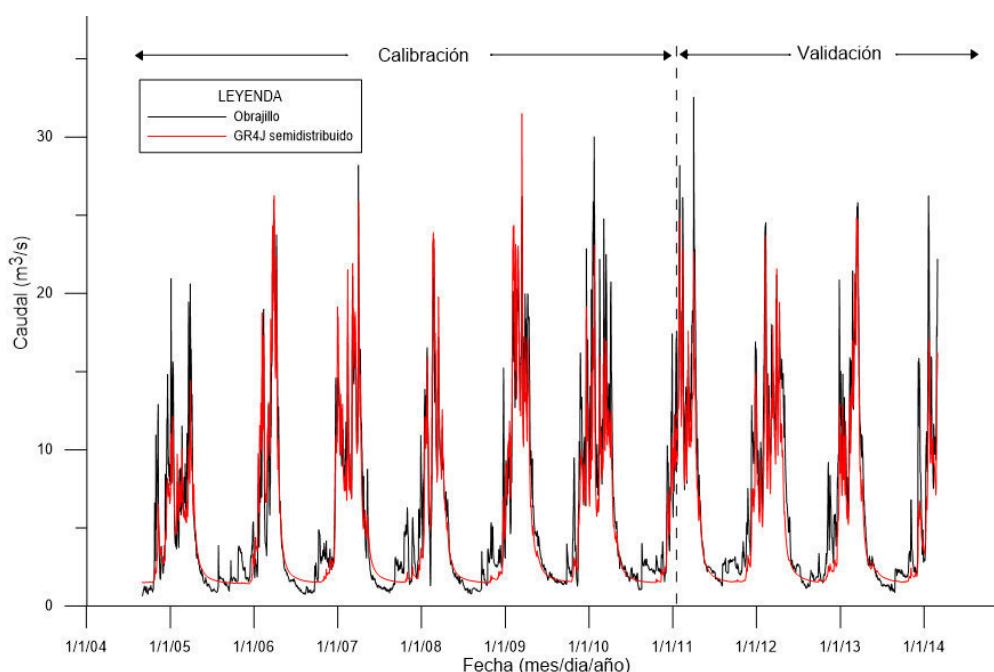
caudales para la estación de control Obrajillo, para luego finalizar los procesos de calibración en la estación Puente Magdalena. Cabe resaltar, que para la calibración de los modelos hidrológicos con enfoque agrupado y como es de esperarse, solo se consideró la estación Puente Magdalena para la adecuación de los modelos, por ser esta última representativa de toda la cuenca de estudio.

A partir de la etapa de calibración procesos de validación fueron realizados considerando los dos últimos años del periodo de estudio (Set/04-Feb/14). La adecuación de los modelos fueron evaluados por medio de indicadores estadísticos de eficiencia de manera individual.

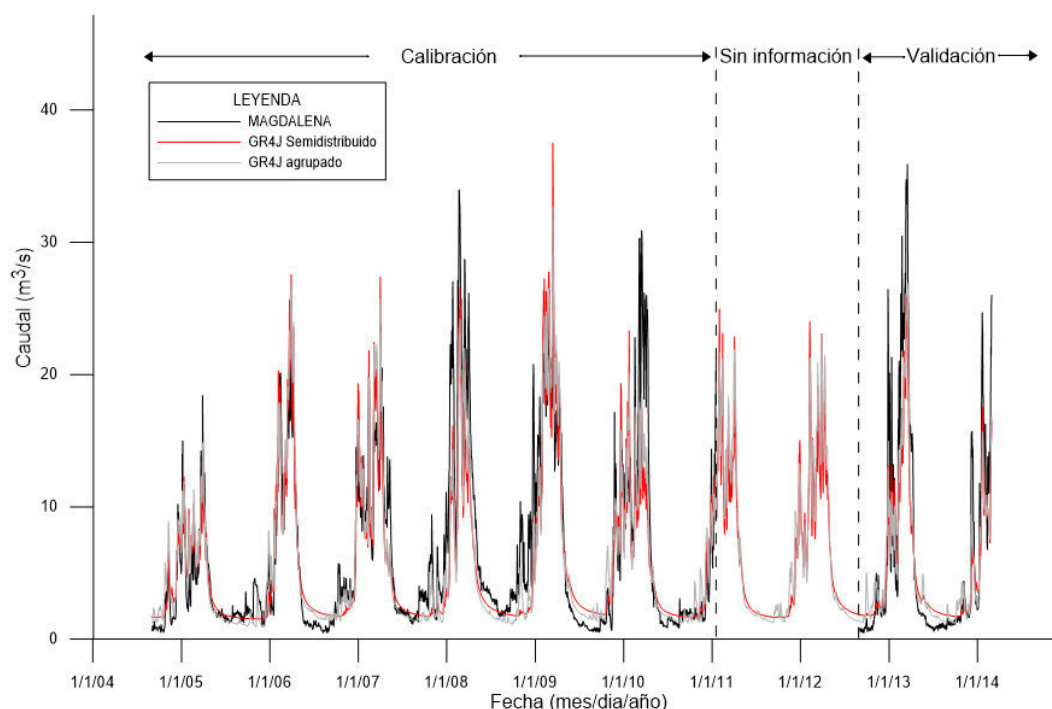
4.1.1. Modelo GR4J agrupado y semidistribuido

Por la poca cantidad de parámetros el modelo GR4J fue el modelo que demandó menor gasto computacional para su adecuación en el área de estudio.

En la [figura 4.1](#) se observa el comportamiento del modelo hidrológico GR4J con enfoque agrupado y semidistribuido para la cuenca del río Chillón. Se observan comportamientos similares de los hidrogramas. Sin embargo, la respuesta del modelo agrupado no reproduce correctamente los caudales de avenida Nash < 0.55 mientras que para el modelo con enfoque semidistribuido se aprecia un mejor desempeño Nash > 0.76 . Acerca de los errores se puede observar en la [tabla 4.1](#) que en promedio los errores del modelo GR4J agrupado son 1.5 veces los errores del modelo GR4J semidistribuido. Además, existe subestimaciones para ambos modelos siendo mayor para la etapa de validación del enfoque de modelamiento agrupado (RBV = -0.3).



(a) Modelo GR4J semidistribuido, estación hidrológica de Obrajillo



(b) Modelo GR4J agrupado y semidistribuido, estación hidrológica Puente Magdalena

Figura 4.1: Hidrogramas simulados y observados, modelo GR4J

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1: Indicadores de eficiencia, modelo GR4J luego del proceso de calibración

| Modelo GR4J | Estación Obrajillo | | Estación Puente Magdalena | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Modelo semidistribuido | | Modelo semidistribuido | | Modelo agrupado | |
| | Calibración Set04 –Ene11 | Validación Feb11 -Feb14 | Calibración Set04 –Ene11 | Validación Set12 -Feb14 | Calibración Set04 –Ene11 | Calibración Set12 -Feb14 |
| Nash-Sucliffe | 0.88 | 0.84 | 0.77 | 0.8 | 0.54 | 0.41 |
| Nash In | 0.86 | 0.86 | 0.79 | 0.84 | 0.5 | 0.54 |
| R | 0.94 | 0.96 | 0.89 | 0.97 | 0.74 | 0.82 |
| RRMSE | 0.34 | 0.33 | 0.49 | 0.56 | 0.7 | 0.93 |
| RBV | -0.08 | -0.21 | -0.1 | -0.18 | -0.09 | -0.3 |

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.1a](#) se observa el hidrograma de caudales del modelo GR4J con enfoque semidistribuido y el hidrograma de caudales observados de la estación Obrajillo. Esta es una respuesta intermedia del modelo GR4J debido a su enfoque semidistribuido. El modelo fue calibrado primero hasta esta estación de control ubicada en la parte alta de la cuenca, para luego ser calibrada en su totalidad por la estación Puente Magdalena.

La [figura 4.1b](#) que representa la comparación de los dos enfoques de modelamiento propuesto en el punto de desfogue de la cuenca, (estación Puente Magdalena), se aprecia que los caudales medios y de avenida presentan un buen ajuste tanto para la etapa de calibración como para la etapa de validación. Esta afirmación es corroborada estadísticamente en la [tabla 4.1](#) en donde se observa un valor Nash > 0.84 . Por otro lado, el modelo GR4J tiende a subestimar en 0.11 % al caudal observado lo cual es un

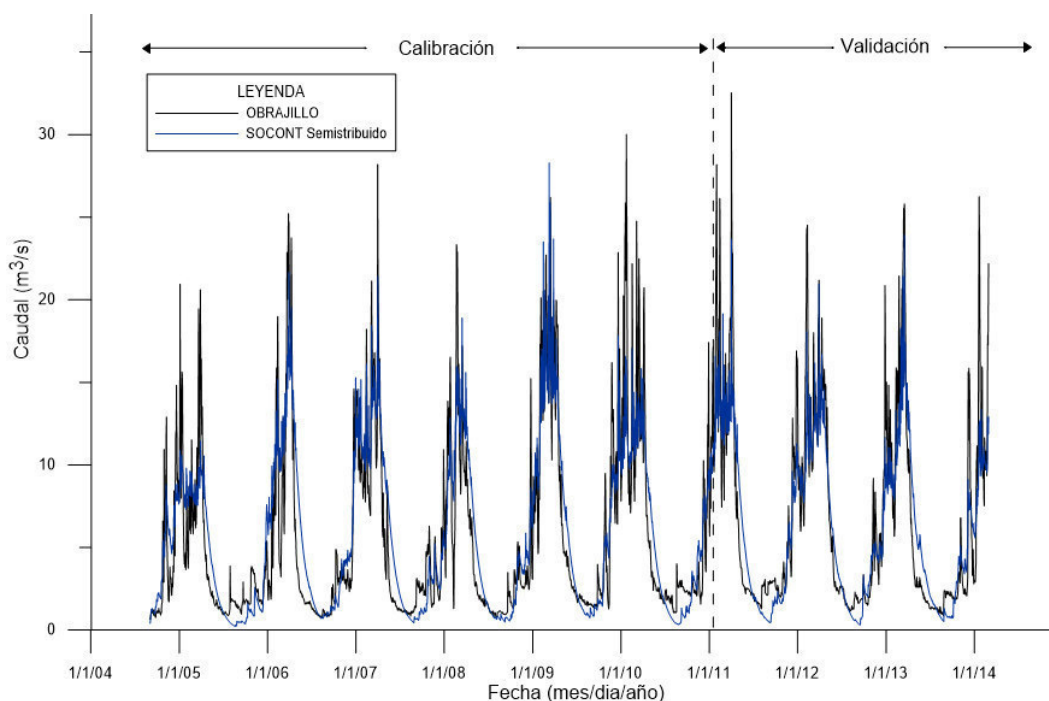
indicador que el modelo responde correctamente. Además, los errores son menores a 0.34.

4.1.2. Modelo SOCONT agrupado y semidistribuido

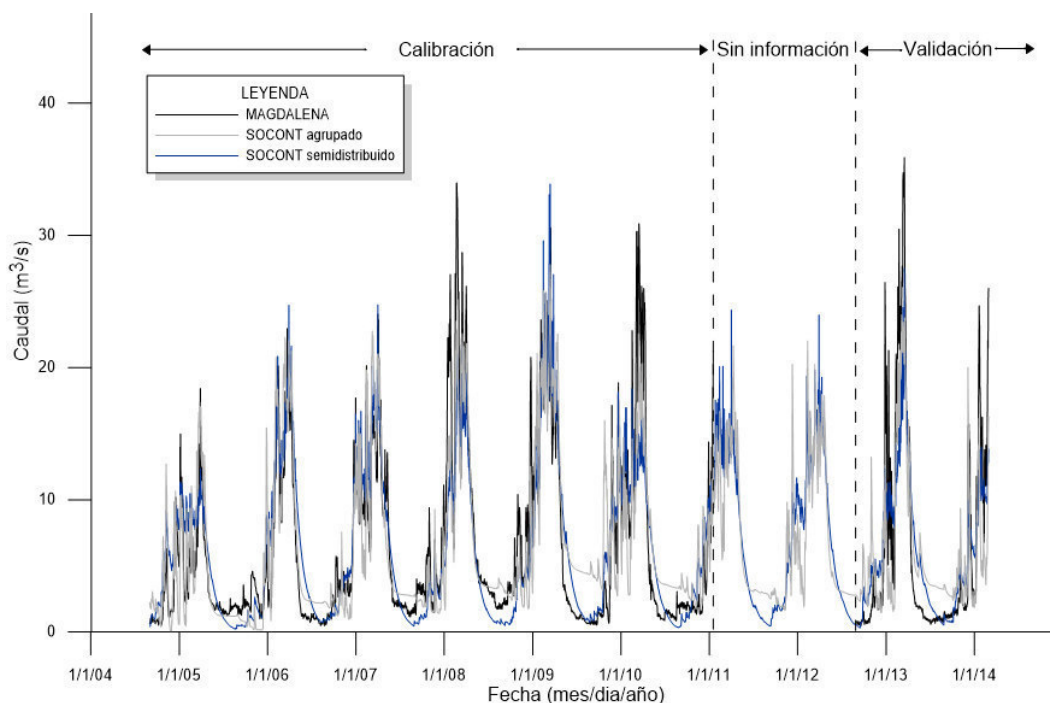
El modelo SOCONT, que incorpora un su estructura un modelo de nieve, presenta un rendimiento menor respecto a los demás modelos. Sin embargo, estadísticamente el modelo responde aceptablemente ($Nash > 0.70$).

En la [figura 4.2a](#) se observa el hidrograma simulado del modelo hidrológico con enfoque semidistribuido para el punto de control ubicado en la parte alta de la cuenca de estudio Obrajillo. La respuesta del modelo SOCONT presenta una eficiencia de Nash > 0.70 por lo que los caudales de avenida son representados. En la [tabla 4.2](#) se puede observar que la eficiencia de Nash disminuye en 0.09 al pasar de la etapa de calibración a la de validación, por lo que el modelo presenta cierta inestabilidad para mantener su eficiencia a lo largo del periodo de estudio.

Por otro lado, los errores para el modelo SOCONT son mayores que para el modelo GR4J, siendo mayores a 0.4. Además, estadísticamente los caudales bajos no presentan un buen ajuste en la etapa de calibración $Nash-In = 0.67$, sin embargo este indicador mejora en la etapa de validación $Nash-In=0.81$.



(a) Modelo SOCONT semidistribuido, estación hidrológica de Obrajillo



(b) Modelo SOCONT agrupado y semidistribuido, estación hidrológica Puente Magdalena

Figura 4.2: Hidrogramas simulados y observados, modelo SOCONT

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Indicadores de eficiencia, modelo SOCONT luego del proceso de calibración

| Modelo SOCONT | Estación Obrajillo | | Estación Puente Magdalena | | | |
|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Modelo semidistribuido | | Modelo semidistribuido | | Modelo agrupado | |
| | Calibración | Validación | Calibración | Validación | Calibración | Validación |
| Estadísticos | Set04 –Ene11 | Feb11 -Feb14 | Set04 –Ene11 | Set12 -Febt14 | Set04 –Ene11 | Set12 -Febt14 |
| Nash-Sutcliffe | 0.79 | 0.7 | 0.76 | 0.73 | 0.77 | 0.71 |
| Nash ln | 0.67 | 0.81 | 0.62 | 0.77 | 0.49 | 0.58 |
| R | 0.89 | 0.9 | 0.87 | 0.9 | 0.87 | 0.87 |
| RRMSE | 0.45 | 0.4 | 0.5 | 0.64 | 0.5 | 0.65 |
| RVB | 0.07 | -0.05 | 0.06 | 0.04 | -0.01 | -0.06 |

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.2b](#) se observa la salida final del hidrograma de caudales del modelo SOCONT semidistribuido y agrupado así como el hidrograma de caudales observados en el punto de desfogue de la cuenca de estudio, estación Puente Magdalena. En la gráfica se aprecia una mayor perturbación, por parte del modelo, en la etapa de validación que en la de calibración, esto es corroborado en la [tabla 4.2](#) en donde se observa una caída de la eficiencia de Nash y un aumento de los errores para ambos enfoques de modelamiento.

Cabe resaltar que la eficiencia de ambos enfoques de modelamiento es similares así como los errores, sin embargo no existe un buen ajuste de los caudales bajos. Así tenemos para el modelo semidistribuido el indicador estadístico de Nash-ln con valores de 0.62 y 0.77 para la etapa de calibración y validación, mientras que para el modelo

agrupado se tiene valores menores de Nash-In de 0.49 y 0.58 (Tabla 4.2).

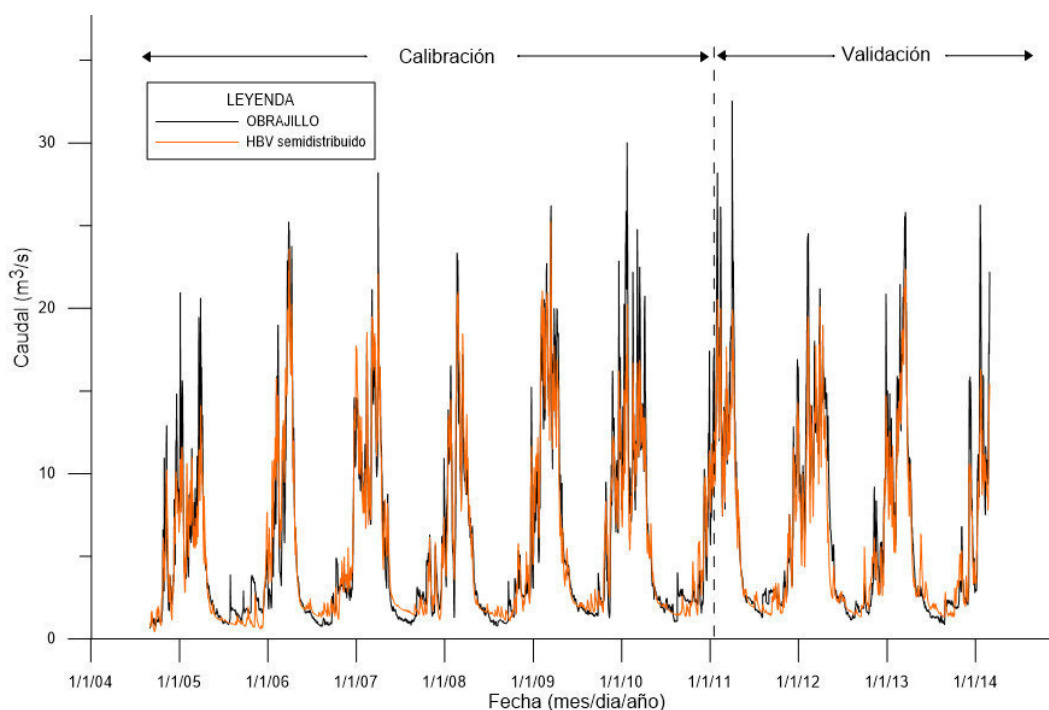
Por otro lado, el submodelo de nieve en el modelo SOCONT no muestra influencia en la respuesta de los caudales simulados, debido a que los aportes de escorrentía por nevados son casi nulas en la cuenca.

4.1.3. Modelo HBV agrupado y semidistribuido

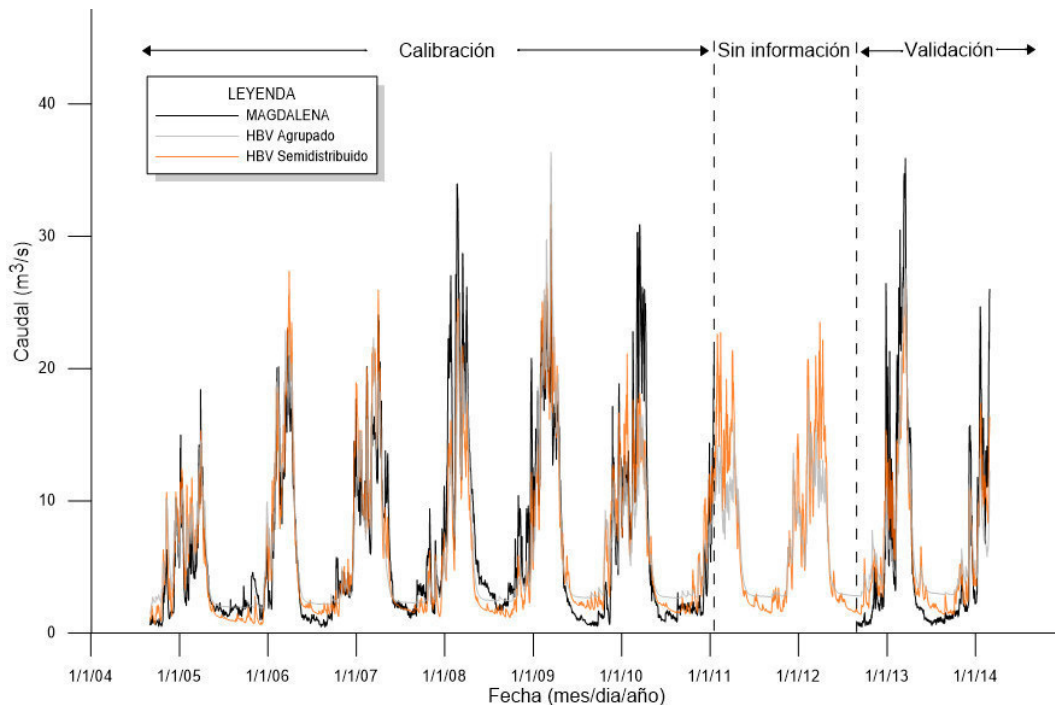
El modelo HBV al igual que el modelo SOCONT presenta un submodelo de nieve, el cual no ha tenido influencia en la respuesta del modelo. Sin embargo, el desempeño del modelo semidistribuido presenta la eficiencia más alta así como los menores errores.

En la figura 4.3a se observa el hidrograma de caudales simulado por el modelo HBV semidistribuido en el punto de control intermedio Obrajillo. Se puede apreciar un ajuste aceptable tanto para la etapa de calibración como para la de validación. Además, el modelo HBV reproduce los pequeños picos registrados en los meses de estiaje así como los de avenida. Estadísticamente la respuesta del modelo HBV semidistribuido es aceptable, así observamos eficiencias de Nash > 0.89 y Nash-In > 0.88 (Tabla 4.3).

Por otro lado, los errores están alrededor de 0.29. El modelo presenta una gran estabilidad en cuanto a sus indicadores estadísticos de eficiencia, para el periodo de estudio.



(a) Modelo HBV semidistribuido, estación hidrológica de Obrajillo



(b) Modelo HBV agrupado y semidistribuido, estación hidrológica Puente Magdalena

Figura 4.3: Hidrogramas simulados y observados, modelo HBV

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3: Indicadores de eficiencia: modelo HBV después del proceso de calibración

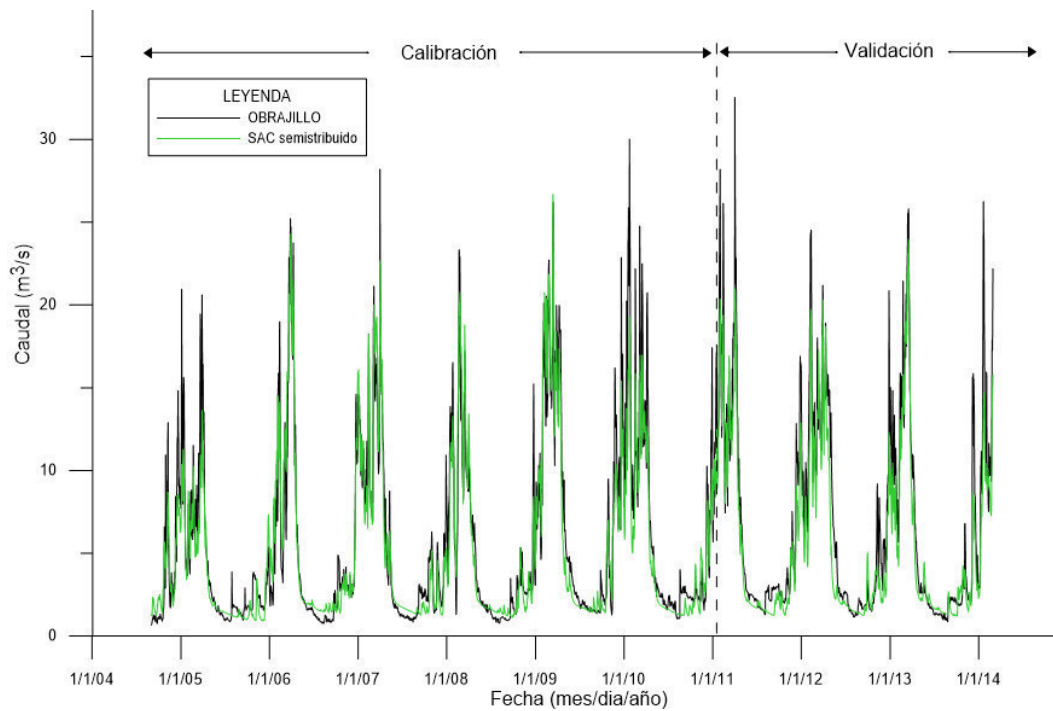
| Modelo HBV | Estación Obrajillo | | Estación Puente Magdalena | | | |
|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Modelo semidistribuido | | Modelo semidistribuido | | Modelo agrupado | |
| | Calibración | Validación | Calibración | Validación | Calibración | Validación |
| Estadísticos | Set04 –Ene11 | Feb11 -Feb14 | Set04 –Ene11 | Set12 -Febt14 | Set04 –Ene11 | Set12 -Febt14 |
| Nash-Sutcliffe | 0.91 | 0.89 | 0.81 | 0.85 | 0.77 | 0.75 |
| Nash ln | 0.88 | 0.92 | 0.78 | 0.8 | 0.74 | 0.64 |
| R | 0.95 | 0.96 | 0.9 | 0.97 | 0.88 | 0.92 |
| RRMSE | 0.29 | 0.29 | 0.44 | 0.49 | 0.48 | 0.6 |
| RVB | -0.01 | -0.14 | -0.01 | -0.08 | 0 | -0.23 |

Fuente: Elaboración propia

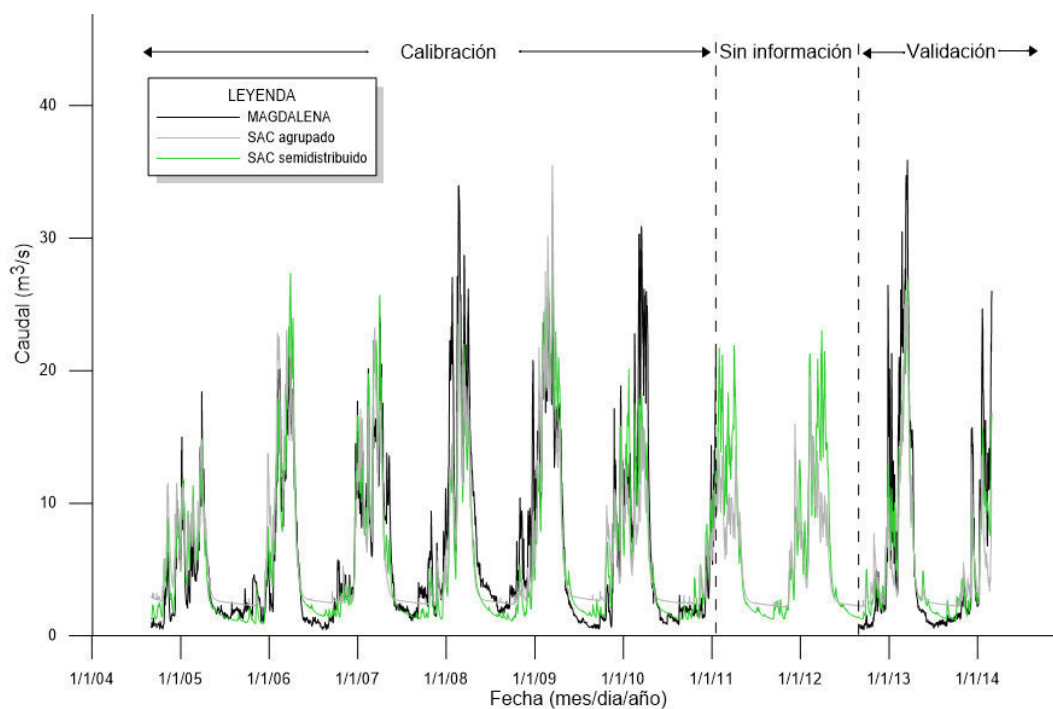
En la [figura 4.3b](#) se observa los hidrogramas de caudales finales de la cuenca de estudio, para el modelo HBV semidistribuido y agrupado respecto de la serie de caudales observados de la estación Puente Magdalena. Se aprecia una respuesta similar de los modelos, sin embargo, el modelo con enfoque agrupado subestima al modelo semidistribuido mientras que los caudales bajos del modelo agrupado sobrestiman tanto al modelo semidistribuido como a la serie observada.

El modelo agrupado presenta un menor desempeño que el modelo semidistribuido, así tenemos eficiencias de Nash = 0.77 y Nash-ln 0.74 para la etapa de calibración mientras que para el modelo semidistribuido se tiene una eficiencia de Nash = 0.81 y Nash-ln = 0.78 ([Tabla 4.3](#)).

4.1.4. Modelo SAC-SMA agrupado y semidistribuido



(a) Modelo SAC-SMA semidistribuido, estación hidrológica de Obrajillo



(b) Modelo SAC-SMA agrupado y semidistribuido, estación hidrológica Puente Magdalena

Figura 4.4: Hidrogramas simulados y observados, modelo SAC-SMA

Fuente: Elaboración propia

El proceso de calibración del modelo Sacramento fue compleja por la cantidad de parámetros, (16 parámetros). Se encontraron eficiencias menores y cercanas al modelo HBV. Además, el desempeño del modelo SAC tanto para el enfoque semidistribuido como agrupado, presentan estabilidad a lo largo de su periodo de estudio.

En la [figura 4.4a](#) se aprecia la respuesta intermedia del modelo semidistribuido para la estación de control Obrajillo. En ella se observa un comportamiento estable, simulando tanto los periodos de estiaje como de avenida. Esta afirmación es corroborado por los indicadores estadísticos de eficiencia ([Tabla 4.4](#)), en donde se aprecia eficiencias altas de Nash = 0.91 y Nash-In = 0.89. Además, los errores se encuentran alrededor de 0.30, mientras que al igual que los demás modelos el modelo Sacramento subestima ligeramente el caudal observado con un RVB = -0.04 para la etapa de calibración.

Por otro lado, en la [figura 4.4b](#) se observa la comparación de las descargas simuladas y observadas para la estación de control Puente Magdalena, resalta un buen ajuste tanto de los caudales de estiaje como de avenida.

Tabla 4.4: Indicadores de eficiencia, modelo SAC-SMA luego del proceso de calibración

| Modelo SAC-SMA | Estación Obrajillo | | Estación Puente Magdalena | | | |
|----------------|------------------------|--------------|---------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Modelo semidistribuido | | Modelo semidistribuido | | Modelo agrupado | |
| | Calibración | Validación | Calibración | Validación | Calibración | Validación |
| Estadísticos | Set04 –Ene11 | Feb11 -Feb14 | Set04 –Ene11 | Set12 -Febt14 | Set04 –Ene11 | Set12 -Febt14 |
| Nash-Sutcliffe | 0.91 | 0.88 | 0.8 | 0.83 | 0.74 | 0.7 |
| Nash In | 0.89 | 0.89 | 0.8 | 0.86 | 0.7 | 0.73 |
| R | 0.95 | 0.96 | 0.9 | 0.97 | 0.86 | 0.9 |
| RRMSE | 0.3 | 0.31 | 0.45 | 0.51 | 0.52 | 0.65 |
| RVB | -0.04 | -0.16 | -0.05 | -0.09 | -0.02 | -0.3 |

Fuente: Elaboración propia

En la [tabla 4.4](#) se resumen el desempeño de los modelos por medio de indicadores estadísticos de eficiencia, se aprecia que el desempeño de ambos enfoques de modelamiento presentan similitudes. Sin embargo el modelo con enfoque semidistribuido presenta una eficiencia mayor con una variación de 0.1 para el coeficiente de Nash.

Además, la eficiencia de Nash-In es mayor para el modelo semidistribuido diferenciándose en promedio en un poco más de 0.11. Por otro lado, y como es de esperarse, los errores se incrementan en el modelo agrupado llegando a 0.65 en la etapa de validación, mientras que para el modelo agrupado se tiene errores alrededor de 0.5.

4.1.5. Parámetros obtenidos en la etapa de calibración

Luego de los procesos de calibración, se obtuvieron cuatro juegos de parámetros para el modelamiento con enfoque semidistribuido y un juego de parámetros para los modelos agrupados ([Tabla 4.5](#)). Los parámetros obtenidos para el modelamiento semidistribuido responden a las 4 divisiones que fueron considerados en el área de estudio (ver [Figura 3.22](#)).

Tabla 4.5: parámetros obtenidos para los modelos propuestos

| Modelo | semidistribuido | | | | Agrupado | | Unidad |
|-----------|---------------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------|
| | Parámetros | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | - | |
| GR4J | X1 | 4.743 | 7.485 | 5.169 | 3.197 | 6.667 | mm |
| | X2 | -1.271 | 2.682 | 0.273 | -2.024 | 0.88 | mm |
| | X3 | 4.501 | 3.549 | 5.193 | 5.839 | 2.41 | mm |
| | X4 | 0.494 | 2.495 | 1.258 | 1.465 | 0.545 | d |
| SOCONT | An | 18.447 | 10.265 | 7.135 | 4.278 | 10.229 | mm°C/día |
| | Theta _{Cri} | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | - |
| | bp | 0.0125 | 0.0125 | 0.0125 | 0.0125 | 0.019 | s/m |
| | HGR3 _{Max} | 103.8 | 156.4 | 181.237 | 181.237 | 435.34 | mm |
| | KGR3 | 0.001 | 0.025 | 0.002 | 0.002 | 0.0002 | 1/s |
| | L | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 70000 | mm |
| | J ⁰ | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.15 | 0.099 | - |
| | Kr | 89.995 | 6.98 | 3.811 | 3.519 | 19.997 | ml/3/s |
| HBV | CF _{Max} | 15.52 | 5.983 | 19.354 | 5.307 | 9.213 | mm/°C/día |
| | CFR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| | CWH | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | - |
| | TT | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.99 | °C |
| | TTInt | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.96 | °C |
| | TTSM | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | °C |
| | Beta | 2.802 | 3.293 | 1.54 | 4.258 | 1 | - |
| | FC | 264.718 | 253.41 | 201.116 | 357.02 | 578.752 | mm |
| | PWP | 512.835 | 356.565 | 110.939 | 351.26 | 499.96 | mm |
| | SU _{MAX} | 57.678 | 34.74 | 96.837 | 63.117 | 85.844 | mm |
| | Kr | 0.307 | 0.307 | 0.499 | 0.499 | 0.432 | 1/d |
| | Ku | 0.132 | 0.132 | 0.067 | 0.067 | 0.042 | 1/d |
| | Kl | 0.005 | 0.005 | 0.001 | 0.001 | 0 | 1/d |
| | Kperc | 0.05 | 0.09 | 0.007 | 0.085 | 0.051 | 1/d |
| SAC – SMA | Adimp | 0 | 0 | 0.046 | 0 | 0 | - |
| | Pctim | 0.011 | 0.011 | 0.002 | 0 | 0.022 | - |
| | Riva | 0 | 0.153 | 0.043 | 0.021 | 0 | - |
| | Uz _{tw} _{Max} | 1.135 | 1.135 | 65.941 | 7.609 | 1.131 | mm |
| | Uz _{fw} _{Max} | 75.588 | 75.588 | 38.724 | 36.246 | 48.507 | mm |
| | Uzk | 0.405 | 0.405 | 0.288 | 0.288 | 0.41 | 1/d |
| | Zperc | 246.095 | 261.469 | 349.251 | 349.251 | 238.03 | - |
| | Rexp | 1.732 | 1.043 | 3.111 | 2.962 | 1.823 | - |
| | Pfree | 0.591 | 0.591 | 0.351 | 0.396 | 0.678 | - |
| | Lz _{tw} _{Max} | 63.376 | 63.376 | 168.255 | 330.724 | 257.06 | mm |
| | Lz _{fp} _{Max} | 170.255 | 170.255 | 229.022 | 184.457 | 436.089 | mm |
| | Lz _{fs} _{Max} | 81.297 | 81.297 | 374.527 | 374.527 | 196.277 | mm |
| | Rserv | 0.464 | 0.464 | 0.826 | 0.826 | 0.679 | - |
| | Lz _{pk} | 0.004 | 0.004 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 1/d |
| | Lz _{sk} | 0.175 | 0.175 | 0.028 | 0.028 | 0.1 | 1/d |
| | Side | 0.111 | 0.111 | 0.052 | 0.043 | 0.406 | - |

Fuente: Astorayme et al. (2015)

En la [tabla 4.5](#) se observa variaciones considerables en ciertos parámetros mientras que en otros la respuesta es similar. Esto es debido a la influencia de cada parámetro en la respuesta del modelo. Al respecto, en la sección siguiente se estudiará con detalle la sensibilidad de los parámetros. Además, se observa que existe una relación directa entre la complejidad de los modelos (mayor número de parámetros) y la similitud en los juegos de parámetros encontrados por zona (modelo semidistribuido).

Es preciso mencionar que los parámetros encontrados no pretenden ser los únicos juegos de valores que ajusten al modelo, aunque sí pretenden formar un juego de parámetros que haga posible simular de manera adecuada el comportamiento de las series observadas. Por lo que, a mayor complejidad del modelo, es posible encontrar otros juegos de parámetros que permitan una respuesta similar y eficiente.

4.2. Análisis de sensibilidad de parámetros

Evaluar la respuesta de los parámetros de manera individual es indispensable si se desea juzgar con mayor criterio la respuesta de los modelos previamente adecuados en el área de estudio. Es así, que un objetivo de la presente tesis es el análisis de sensibilidad de los parámetros. El mismo consiste en variar individualmente los parámetros de un determinado modelo, manteniendo constante los restantes, a fin de evaluar la respuesta de los modelos a través de indicadores estadísticos de eficiencia.

Es así, que en esta sección se presenta el análisis de sensibilidad para cada uno de los parámetros de los modelos propuestos en la presente tesis, a saber: GR4J, SOCONT, HBV y SAC. Además, se discute y se interpreta los resultados obtenidos.

4.2.1. Análisis de sensibilidad del modelo GR4J

El análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo GR4J fue elaborado encontrándose en los parámetros X_2 y X_3 una mayor sensibilidad respecto a los indicadores de eficiencia ([Figura 4.5](#)). Aquello puede interpretarse desde la estructuración del modelo el cual relaciona dichos parámetros con el tanque de propagación (ver estructura del modelo, [Figura 2.4](#)).

En la estructura del modelo GR4J el reservorio o tanque de propagación explica los procesos de percolación y de generación de precipitación efectiva, siendo la altura de este reservorio el parámetro X_3 . Así, es de esperar que este parámetro tenga gran influencia en la respuesta del modelo. Por otro lado, los procesos de infiltración y de ingreso de fuentes de agua a la cuenca está relacionado con el parámetro X_2 , por lo que es razonable comprender que este parámetro sea el más sensible. Por otro lado, en la [tabla 4.6](#) se registran el comportamiento de los parámetros en donde se registran las variaciones de las eficiencias, lo cual es corrobora y permite comprender las gráficas descritas.

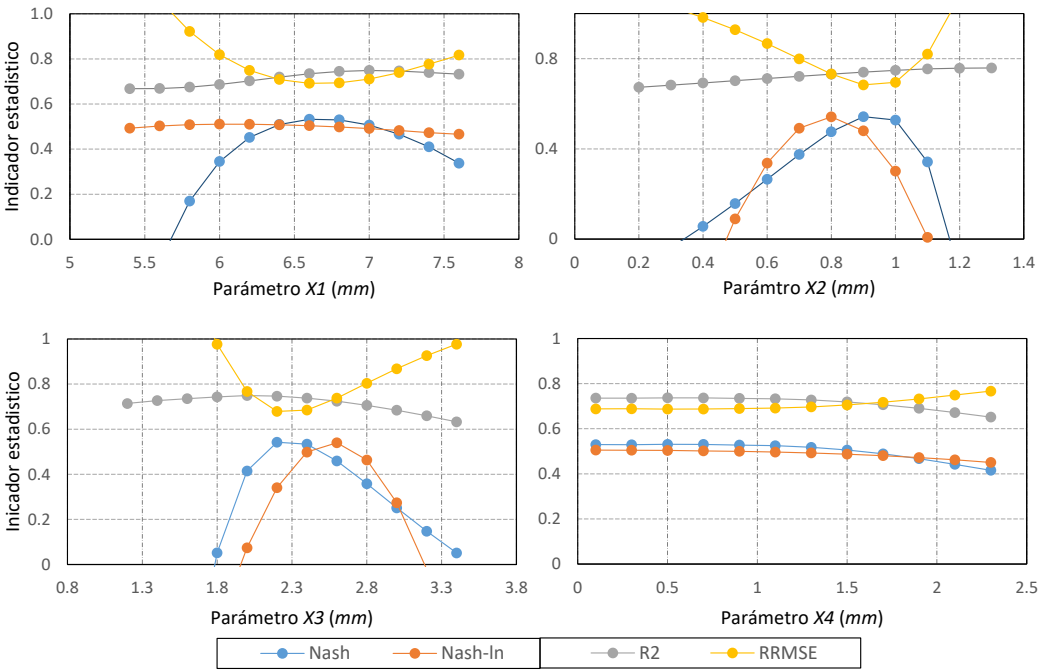


Figura 4.5: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo GR4J.

Tabla 4.6: Variación de los parámetros del modelo GR4J

| Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | |
|------------|------|---------|-------|-------|-----------|-------|---------|-------|-------|------|
| X1 (mm) | 5.4 | -0.48 | 0.49 | 0.67 | 1.23 | 0.2 | -0.12 | -1.15 | 0.67 | 1.07 |
| | 5.6 | -0.1 | 0.5 | 0.67 | 1.06 | 0.3 | -0.04 | -0.65 | 0.68 | 1.03 |
| | 5.8 | 0.17 | 0.51 | 0.67 | 0.92 | 0.4 | 0.06 | -0.24 | 0.69 | 0.98 |
| | 6 | 0.34 | 0.51 | 0.69 | 0.82 | 0.5 | 0.16 | 0.09 | 0.7 | 0.93 |
| | 6.2 | 0.45 | 0.51 | 0.7 | 0.75 | 0.6 | 0.27 | 0.34 | 0.71 | 0.87 |
| | 6.4 | 0.51 | 0.51 | 0.72 | 0.71 | 0.7 | 0.38 | 0.49 | 0.72 | 0.8 |
| | 6.6 | 0.53 | 0.5 | 0.73 | 0.69 | 0.8 | 0.48 | 0.54 | 0.73 | 0.73 |
| | 6.8 | 0.53 | 0.5 | 0.74 | 0.69 | 0.9 | 0.54 | 0.48 | 0.74 | 0.68 |
| | 7 | 0.51 | 0.49 | 0.75 | 0.71 | 1 | 0.53 | 0.3 | 0.75 | 0.7 |
| | 7.2 | 0.47 | 0.48 | 0.75 | 0.74 | 1.1 | 0.34 | 0.01 | 0.75 | 0.82 |
| 7.4 | 0.41 | 0.47 | 0.74 | 0.78 | 1.2 | -0.16 | -0.38 | 0.76 | 1.08 | |
| 7.6 | 0.34 | 0.47 | 0.73 | 0.82 | 1.3 | -1.22 | -0.87 | 0.76 | 1.5 | |
| X3 (mm) | 1.2 | -3.08 | -1.49 | 0.71 | 2.03 | 0.1 | 0.53 | 0.51 | 0.74 | 0.69 |
| | 1.4 | -1.68 | -1.1 | 0.73 | 1.64 | 0.3 | 0.53 | 0.5 | 0.74 | 0.69 |
| | 1.6 | -0.63 | -0.68 | 0.74 | 1.28 | 0.5 | 0.53 | 0.5 | 0.74 | 0.69 |
| | 1.8 | 0.05 | -0.28 | 0.74 | 0.98 | 0.7 | 0.53 | 0.5 | 0.74 | 0.69 |
| | 2 | 0.41 | 0.07 | 0.75 | 0.77 | 0.9 | 0.53 | 0.5 | 0.73 | 0.69 |
| | 2.2 | 0.54 | 0.34 | 0.75 | 0.68 | 1.1 | 0.52 | 0.5 | 0.73 | 0.69 |
| | 2.4 | 0.53 | 0.5 | 0.74 | 0.68 | 1.3 | 0.52 | 0.49 | 0.73 | 0.7 |
| | 2.6 | 0.46 | 0.54 | 0.72 | 0.74 | 1.5 | 0.51 | 0.49 | 0.72 | 0.71 |
| | 2.8 | 0.36 | 0.46 | 0.71 | 0.8 | 1.7 | 0.49 | 0.48 | 0.71 | 0.72 |
| | 3 | 0.25 | 0.27 | 0.68 | 0.87 | 1.9 | 0.47 | 0.47 | 0.69 | 0.73 |
| 3.2 | 0.15 | -0.02 | 0.66 | 0.93 | 2.1 | 0.44 | 0.46 | 0.67 | 0.75 | |
| 3.4 | 0.05 | -0.41 | 0.63 | 0.98 | 2.3 | 0.42 | 0.45 | 0.65 | 0.77 | |

Fuente: Elaboración propia

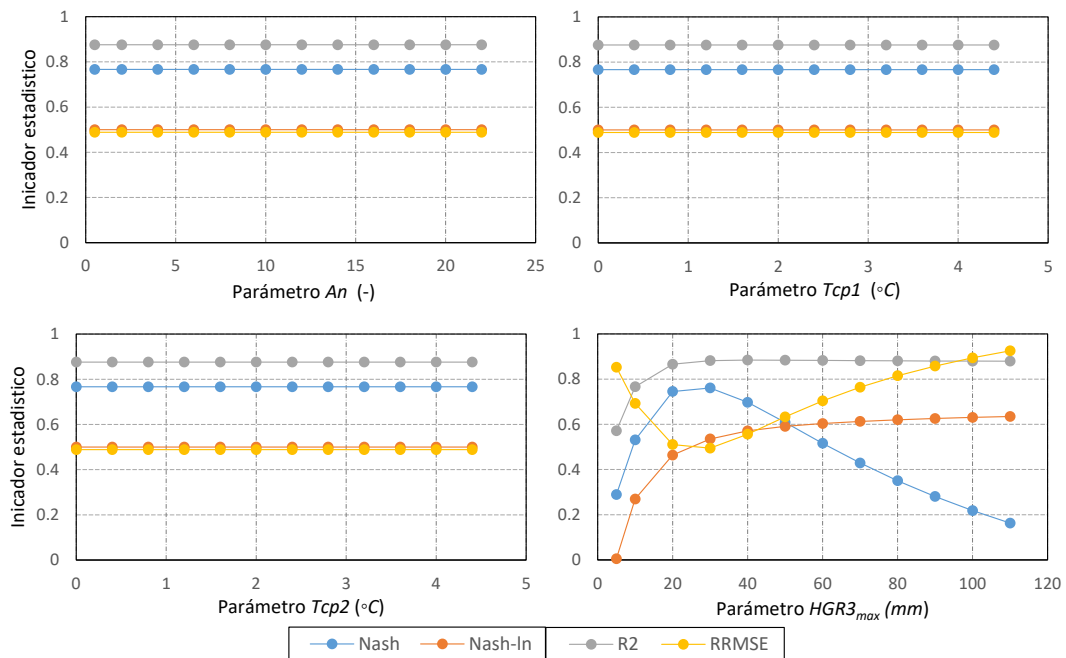
El parámetro X1 el cual está relacionado con la altura del reservorio o tanque de

producción se encarga de la transformación de precipitación efectiva a partir de los procesos de evapotranspiración. Por lo que, es un parámetro a tomar en cuenta también. En [figura 4.5](#), se pudo apreciar la respuesta de los indicadores estadísticos de eficiencia en donde se destaca una variación mayor del indicador estadístico Nash, el cual evalúa los caudales de avenida, mientras que para los demás indicadores estadísticos de eficiencia existe variaciones menores. Finalmente, el análisis de sensibilidad para el parámetro X_4 , muestra una ligera respuesta de la eficiencia del modelo al variar dicho parámetro, por lo que se puede concluir que para la cuenca de estudio este no presenta gran influencia.

Es preciso mencionar, que la respuesta del parámetro X_2 y X_3 respecto a los indicadores estadísticos de eficiencia Nash y Nash-In se perturban con facilidad al variar estos parámetros. Así, también se puede inferir que estos parámetros son los responsables en mayor medida de la correcta simulación de los caudales de avenida y estiaje. Además, se observa que para rangos entre 0.8 y 1 mm del parámetro X_2 la eficiencia de los indicadores estadísticos se mantiene en sus valores óptimos, mientras que para el parámetro X_3 el rango de mayor eficiencia está comprendido en los valores entre 2.4 y 2.6 mm ([Figura 4.5](#)).

4.2.2. Análisis de sensibilidad del modelo SOCONT

Se consideró 7 de los 11 parámetros, debido a que solo estos están estructurados para poder variar en un determinado rango.



(a) Parámetros An , $Tc1$, $Tc2$ y $HGR3_{max}$

Figura 4.6: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SOCONT

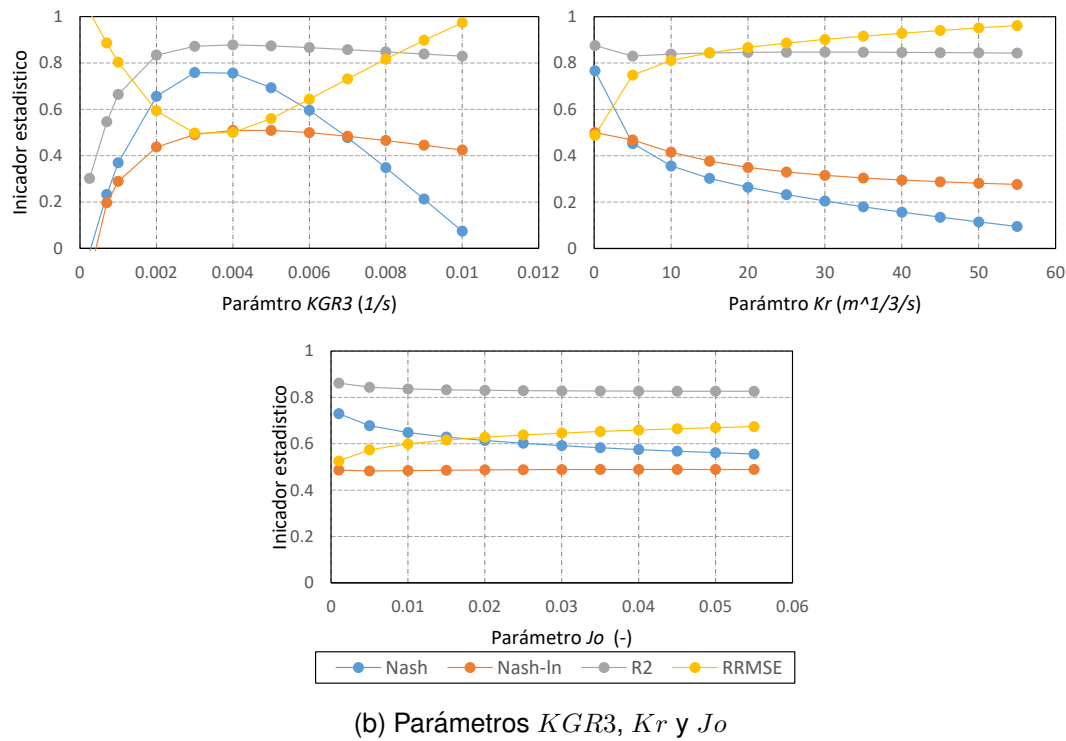


Figura 4.6: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SOCONT
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7: Variación de los parámetros del modelo SOCONT

| Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | |
|----------------|------|---------|------|-------|-----------|------|---------|------|-------|------|
| An (mm) | 0.5 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 0 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 2 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 0.4 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 4 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 0.8 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 6 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 1.2 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 8 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 1.6 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 10 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 2 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 12 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 2.4 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 14 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 2.8 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 16 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 3.2 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 18 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 3.6 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 20 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 4 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| 22 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 4.4 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | |
| $Tcp2$ (°C) | 0 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 5 | 0.29 | 0.01 | 0.57 | 0.85 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 10 | 0.27 | 0.77 | 0.69 | 0.74 | 0.69 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 20 | 0.46 | 0.87 | 0.51 | 0.74 | 0.69 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 30 | 0.54 | 0.88 | 0.49 | 0.74 | 0.69 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 40 | 0.57 | 0.88 | 0.56 | 0.73 | 0.69 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 50 | 0.59 | 0.88 | 0.63 | 0.73 | 0.69 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 60 | 0.6 | 0.88 | 0.7 | 0.73 | 0.7 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 70 | 0.61 | 0.88 | 0.76 | 0.72 | 0.71 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 80 | 0.62 | 0.88 | 0.82 | 0.71 | 0.72 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 90 | 0.63 | 0.88 | 0.86 | 0.69 | 0.73 |
| | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 100 | 0.63 | 0.88 | 0.89 | 0.67 | 0.75 |
| 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 | 110 | 0.63 | 0.88 | 0.93 | 0.65 | 0.77 | |

continua en la siguiente pagiana

Tabla 4.7 – Continua de la pagina anterior

| | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE |
|-----------------|-----------|-------|---------|------|-------|-------------------------|-----------|------|---------|------|-------|
| $KGR3$ (1/s) | 0.0003 | -0.02 | -0.12 | 0.3 | 1.02 | Kr ($m^{1/3}/s$) | 0 | 0.77 | 0.5 | 0.88 | 0.49 |
| | 0.0007 | 0.23 | 0.2 | 0.55 | 0.89 | | 5 | 0.45 | 0.47 | 0.83 | 0.75 |
| | 0.001 | 0.37 | 0.29 | 0.66 | 0.8 | | 10 | 0.36 | 0.42 | 0.84 | 0.81 |
| | 0.002 | 0.66 | 0.44 | 0.83 | 0.59 | | 15 | 0.3 | 0.38 | 0.84 | 0.84 |
| | 0.003 | 0.76 | 0.5 | 0.87 | 0.5 | | 20 | 0.26 | 0.35 | 0.85 | 0.87 |
| | 0.004 | 0.76 | 0.51 | 0.88 | 0.5 | | 25 | 0.23 | 0.33 | 0.85 | 0.89 |
| | 0.005 | 0.69 | 0.51 | 0.87 | 0.56 | | 30 | 0.2 | 0.32 | 0.85 | 0.9 |
| | 0.006 | 0.6 | 0.5 | 0.87 | 0.64 | | 35 | 0.18 | 0.3 | 0.85 | 0.92 |
| | 0.007 | 0.48 | 0.48 | 0.86 | 0.73 | | 40 | 0.16 | 0.3 | 0.85 | 0.93 |
| | 0.008 | 0.35 | 0.46 | 0.85 | 0.82 | | 45 | 0.14 | 0.29 | 0.85 | 0.94 |
| 0.009 | 0.21 | 0.44 | 0.84 | 0.9 | 50 | 0.11 | 0.28 | 0.84 | 0.95 | | |
| 0.01 | 0.07 | 0.42 | 0.83 | 0.97 | 55 | 0.1 | 0.28 | 0.84 | 0.96 | | |
| Jo (-) | 0.001 | 0.73 | 0.49 | 0.86 | 0.53 | | | | | | |
| | 0.005 | 0.68 | 0.48 | 0.84 | 0.57 | | | | | | |
| | 0.01 | 0.65 | 0.48 | 0.84 | 0.6 | | | | | | |
| | 0.015 | 0.63 | 0.49 | 0.83 | 0.62 | | | | | | |
| | 0.02 | 0.61 | 0.49 | 0.83 | 0.63 | | | | | | |
| | 0.025 | 0.6 | 0.49 | 0.83 | 0.64 | | | | | | |
| | 0.03 | 0.59 | 0.49 | 0.83 | 0.65 | | | | | | |
| | 0.035 | 0.58 | 0.49 | 0.83 | 0.65 | | | | | | |
| | 0.04 | 0.58 | 0.49 | 0.83 | 0.66 | | | | | | |
| | 0.045 | 0.57 | 0.49 | 0.83 | 0.66 | | | | | | |
| | 0.05 | 0.56 | 0.49 | 0.83 | 0.67 | | | | | | |
| | 0.055 | 0.56 | 0.49 | 0.83 | 0.67 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Al respecto, los parámetros $HGR3_{max}$, $KGR3$ y Kr presentan mayor sensibilidad respecto a los indicadores estadísticos de eficiencia (Figura 4.6). Mientras que los parámetros que no presentan sensibilidad son: An , T_{cp1} y T_{cp2} , lo cual es corroborado en la tabla 4.7

Como se ha descrito en el capítulo de Materiales y Métodos el modelo SOCONT está estructurado por tres submodelos el primero de ellos es el modelo de nieve el cual relaciona el parámetro An , siendo este un valor que involucra los procesos de descongelamiento de las masa de nieve presentes en la cuenca de estudio.

En figura 4.6a se observa que no existen variaciones en los indicadores estadísticos para este parámetro, pues como se conoce el aporte de nieve es casi nula en la cuenca del Chillón. Además los parámetros T_{cp1} y T_{cp2} que son los umbrales superior e inferior de la temperatura para los procesos de transformación de lluvia solida a líquida no presentan influencia en la eficiencia de la respuesta del modelo. Por lo que se puede concluir que el módulo de nieve no influye en la respuesta del modelo.

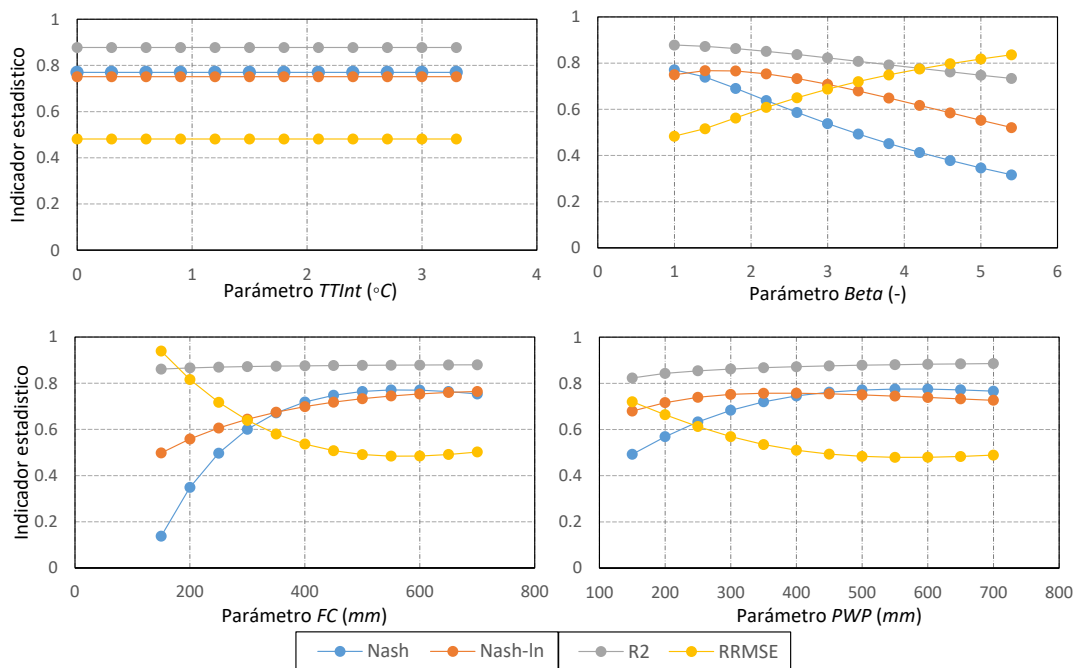
Un segundo submodelo incluido en el modelo SOCONT es el modelo $GR3$, el cual simula los procesos de infiltración en la cuenca. Los parámetros relacionados a este submodelo son $HGR3_{Max}$ que representa la altura del reservorio o tanque de infiltración. También se tiene al parámetro $KGR3$ (Figura 4.6b) el cual es un coeficiente de infiltración en este reservorio. Ambos parámetros presentan una gran influencia en el modelo SOCONT. Así, se observa que existe una significativa variación de los indicadores

estadísticos de eficiencia para ambos parámetros siendo el $KGR3$ el parámetro más sensible. Por lo que, los errores se incrementen por encima de 1 y presentan un coeficiente de Nash por debajo de 0 para valores mayores a 0.01 para el parámetro en mención.

Un tercer submodelo incluido en el modelo SOCONT es el modelo $SWMM$ (*Storm Water Management Model*) en él se enmarcan los parámetros kr y Jo , el primero de ellos corresponde al coeficiente de Strickler el cual explica las características de la rugosidad del cauce, este parámetro presenta una relación inversa con la eficiencia. Así, para valores altos de este parámetro existe una menor desempeño de los indicadores estadísticos Nash y Nash-In, mientras que los errores se elevan (Figura 4.6b). Finalmente, se tiene al parámetro Jo , mencionado anteriormente, este tiene una caracterización más física pues representa a la pendiente promedio de la cuenca. Se observa que para valores mayores a 0.001 la influenciada de este parámetro es casi nula para el modelo.

4.2.3. Análisis de sensibilidad del modelo HBV

El modelo HBV presenta 14 parámetros de los cuales solo 11 están acondicionados para poder variar en un determinado rango. Al respecto, para el análisis de sensibilidad de los parámetros se encontraron gran sensibilidad en los parámetros FC , ku , kl y $kperc$.



(a) Parámetros CF_{Max} , TT , $TTint$ y $Beta$

Figura 4.7: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo HBV

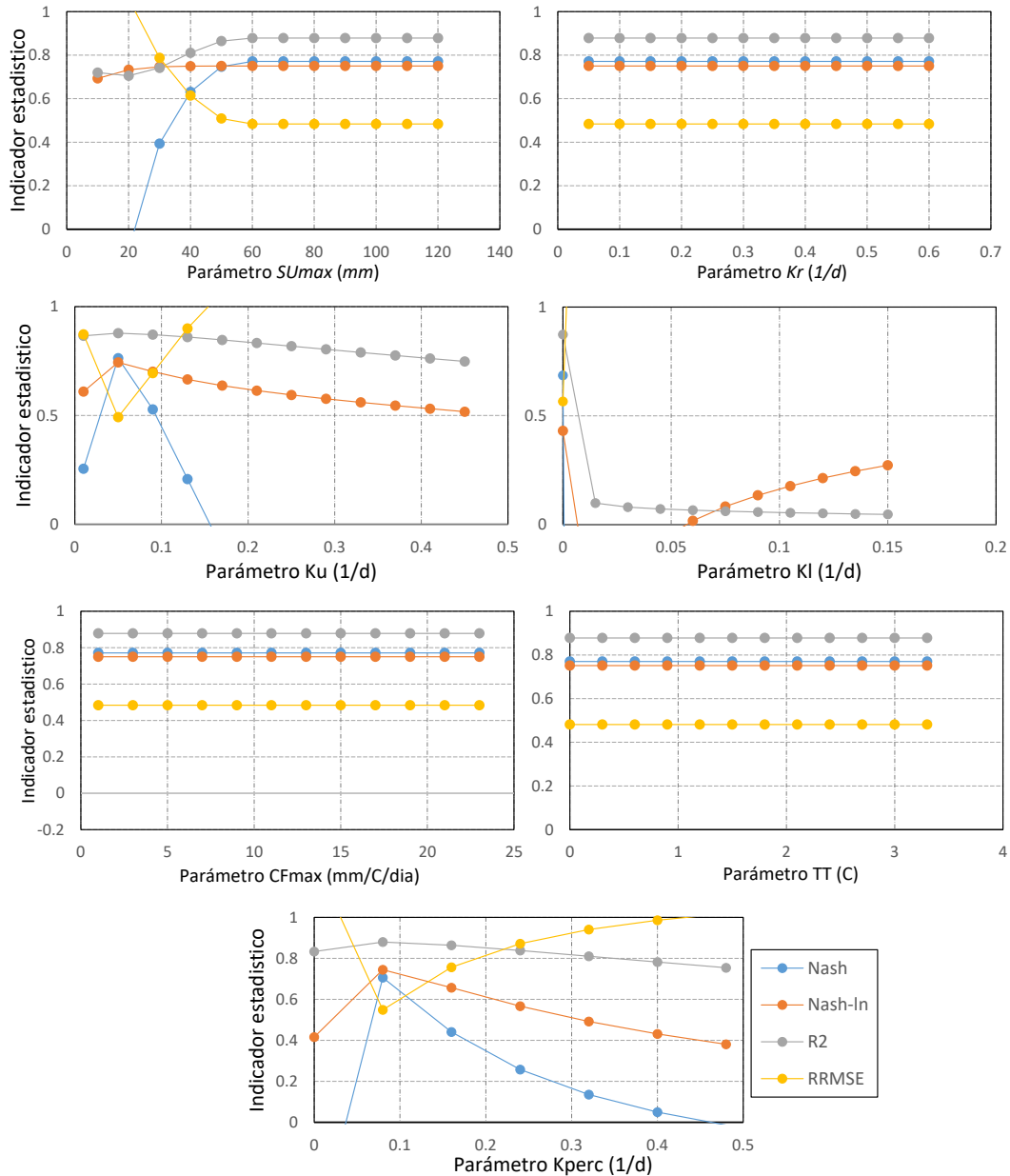
(b) Parámetros FC , PWP , SU_{Max} , K_r , K_u , K_l y K_{perc}

Figura 4.7: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo HBV

Fuente: Elaboración propia

El modelo HBV al igual que el modelo SOCONT presenta en su estructura un módulo de nieve (ver estructura del modelo, [Figura 2.6](#)) en él están relacionados los parámetros CF_{Max} , el cual gobierna los procesos de aporte de masas de nieve de la cuenca de estudio, mientras que los parámetros TT y TT_{in} son valores asociados al umbral de transformación de lluvia solida a liquida. En la [figura 4.7](#) se observa que no existe influencia en los indicadores estadísticos de eficiencia para los parámetros en mención, por lo que al igual que en el modelo SOCONT, el módulo de nieve no influye en la respuesta de los caudales simulados.

El parámetro $Beta$ y FC los cuales relacionan los procesos de recarga en la cuenca y que representan el paso de escorrentía del tanque de humedad del suelo al tanque superior, presentan una respuesta significativa en los indicadores de eficiencia. Así, para valores altos del parámetro $Beta$ se observa una disminución lineal de los indicadores Nash, Nash-In y R y un aumento de los errores (Figura 4.7a).

Por otro lado, para el parámetro FC para valores entre 0 y 500 existen un aumento de la eficiencia y de los errores, el parámetro pierde sensibilidad por encima de este rango (Figura 4.7b). El parámetro PWP , el cual relaciona los procesos de evapotranspiración real en la cuenca y está realacionada al tanque de humedad del suelo, pierde sensibilidad para valores mayores a 400 mm. Esto puede ser explicada desde la conceptualización del modelo mismo, pues para valores altos del mismo no se puede esperar que siga incrementándose la evapotranspiración real pues esto depende de la humedad presente en la capa superior del suelo y de las condiciones previas.

Los parámetros SU_{Max} y Kr están involucrados con la generación de la escorrentía superficial directa proveniente del reservorio o tanque superior. Así, el parámetro SU_{max} representa la altura del reservorio superior en donde valores mayores a 60 mm de altura la sensibilidad del este parámetro es nula. Mientras que para el parámetro Kr se observa una respuesta en la eficiencia constante y nula.

Los parámetros ku y kl están relacionados con el interflujo (Q_u) y el caudal base (Q_l) respectivamente. En las gráficas se observa una alta sensibilidad y por ende una gran influencia en la respuesta de la eficiencia del modelo HBV para la cuenca de estudio.

Finalmente, el parámetro $Kper$, el cual relaciona también los procesos de escorrentía por percolación, siendo este también significativamente sensible al modelo.

En la tabla 4.8 se tiene los registros de las variaciones por parámetro del modelo HBV, en ella se destaca las fluctuaciones altas de los parámetros Ku , kl y $Kperc$. Además, se registra insensibilidad por parte de los parámetros CF_{MAX} , $Ttint$, TT y kr .

Tabla 4.8: Variación de los parámetros del modelo HBV

| Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | |
|----------------------|------|---------|------|-------|----------------|------|---------|------|-------|------|
| 1 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 5 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 7 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.6 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 9 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.9 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| CF_{Max} | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | TT | 1.2 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| $(mm/^{\circ}C/dia)$ | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | $(/^{\circ}C)$ | 1.5 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| 13 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 1.8 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 15 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 2.1 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 17 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 2.4 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 19 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 2.7 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 21 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | |
| 23 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | | | | | | |

continua en la siguiente pagina

continua en la siguiente pagiana

Tabla 4.8 – Continua de la pagina anterior

| Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | |
|-------------------------------|-------|---------|------|-------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|
| T_{tint} ($^{\circ}C$) | 0 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 1 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 0.3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 1.4 | 0.74 | 0.77 | 0.87 | 0.52 |
| | 0.6 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 1.8 | 0.69 | 0.77 | 0.86 | 0.56 |
| | 0.9 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 2.2 | 0.64 | 0.75 | 0.85 | 0.61 |
| | 1.2 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 2.6 | 0.59 | 0.73 | 0.84 | 0.65 |
| | 1.5 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 3 | 0.54 | 0.71 | 0.82 | 0.69 |
| | 1.8 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 3.4 | 0.49 | 0.68 | 0.81 | 0.72 |
| | 2.1 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 3.8 | 0.45 | 0.65 | 0.79 | 0.75 |
| | 2.4 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 4.2 | 0.41 | 0.62 | 0.78 | 0.77 |
| | 2.7 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 4.6 | 0.38 | 0.58 | 0.76 | 0.8 |
| | 3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 5 | 0.35 | 0.55 | 0.75 | 0.82 |
| | 3.3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 5.4 | 0.32 | 0.52 | 0.73 | 0.84 |
| FC (mm) | 150 | 0.14 | 0.5 | 0.86 | 0.94 | 150 | 0.49 | 0.68 | 0.82 | 0.72 |
| | 200 | 0.35 | 0.56 | 0.87 | 0.82 | 200 | 0.57 | 0.72 | 0.84 | 0.66 |
| | 250 | 0.5 | 0.61 | 0.87 | 0.72 | 250 | 0.63 | 0.74 | 0.85 | 0.61 |
| | 300 | 0.6 | 0.64 | 0.87 | 0.64 | 300 | 0.68 | 0.75 | 0.86 | 0.57 |
| | 350 | 0.67 | 0.67 | 0.87 | 0.58 | 350 | 0.72 | 0.76 | 0.87 | 0.54 |
| | 400 | 0.72 | 0.7 | 0.88 | 0.54 | 400 | 0.75 | 0.76 | 0.87 | 0.51 |
| | 450 | 0.75 | 0.72 | 0.88 | 0.51 | 450 | 0.76 | 0.75 | 0.88 | 0.49 |
| | 500 | 0.76 | 0.73 | 0.88 | 0.49 | 500 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 550 | 0.77 | 0.74 | 0.88 | 0.48 | 550 | 0.78 | 0.74 | 0.88 | 0.48 |
| | 600 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 600 | 0.78 | 0.74 | 0.88 | 0.48 |
| | 650 | 0.76 | 0.76 | 0.88 | 0.49 | 650 | 0.77 | 0.73 | 0.88 | 0.48 |
| | 700 | 0.75 | 0.76 | 0.88 | 0.5 | 700 | 0.77 | 0.73 | 0.89 | 0.49 |
| Su_{Max} (mm) | 10 | -0.97 | 0.69 | 0.72 | 1.42 | 0.05 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 20 | -0.1 | 0.73 | 0.71 | 1.06 | 0.1 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 30 | 0.39 | 0.75 | 0.74 | 0.79 | 0.15 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 40 | 0.63 | 0.75 | 0.81 | 0.61 | 0.2 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 50 | 0.75 | 0.75 | 0.86 | 0.51 | 0.25 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 60 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.3 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 70 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.35 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 80 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.4 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 90 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.45 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 100 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.5 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 110 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.55 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| | 120 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 | 0.6 | 0.77 | 0.75 | 0.88 | 0.48 |
| K_u (1/d) | 0.01 | 0.26 | 0.61 | 0.87 | 0.87 | 0 | 0.69 | 0.43 | 0.87 | 0.57 |
| | 0.05 | 0.76 | 0.74 | 0.88 | 0.49 | 0.015 | -18.83 | -0.52 | 0.1 | 4.5 |
| | 0.09 | 0.53 | 0.7 | 0.87 | 0.69 | 0.03 | -37.35 | -0.23 | 0.08 | 6.26 |
| | 0.13 | 0.21 | 0.67 | 0.86 | 0.9 | 0.045 | -56.11 | -0.08 | 0.07 | 7.64 |
| | 0.17 | -0.11 | 0.64 | 0.85 | 1.07 | 0.06 | -75.17 | 0.02 | 0.07 | 8.83 |
| | 0.21 | -0.42 | 0.61 | 0.83 | 1.2 | 0.075 | -94.53 | 0.08 | 0.06 | 9.89 |
| | 0.25 | -0.71 | 0.59 | 0.82 | 1.32 | 0.09 | -114.2 | 0.13 | 0.06 | 10.86 |
| | 0.29 | -0.99 | 0.58 | 0.8 | 1.43 | 0.105 | -134.18 | 0.18 | 0.06 | 11.76 |
| | 0.33 | -1.26 | 0.56 | 0.79 | 1.52 | 0.12 | -154.48 | 0.21 | 0.05 | 12.61 |
| | 0.37 | -1.52 | 0.55 | 0.78 | 1.6 | 0.135 | -175.11 | 0.25 | 0.05 | 13.42 |
| | 0.41 | -1.77 | 0.53 | 0.76 | 1.68 | 0.15 | -196.07 | 0.27 | 0.05 | 14.2 |
| | 0.45 | -2.02 | 0.52 | 0.75 | 1.76 | | | | | |
| K_{perc} (1/d) | 0 | -0.61 | 0.42 | 0.83 | 1.28 | | | | | |
| | 0.08 | 0.71 | 0.74 | 0.88 | 0.55 | | | | | |
| | 0.16 | 0.44 | 0.66 | 0.86 | 0.76 | | | | | |
| | 0.24 | 0.26 | 0.57 | 0.84 | 0.87 | | | | | |
| | 0.32 | 0.14 | 0.49 | 0.81 | 0.94 | | | | | |
| | 0.4 | 0.05 | 0.43 | 0.78 | 0.99 | | | | | |
| 0.48 | -0.01 | 0.38 | 0.75 | 1.02 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Análisis de sensibilidad del modelo SAC-SMA

El modelo SAC-SMA presenta 16 parámetros, los cuales fueron evaluados, en el rango recomendado por su creador, para estudiar la sensibilidad de los mismos. Al respecto, se encontró gran sensibilidad en los parámetros $Adimp$, $pfree$, $Lzpk$ y $Side$.

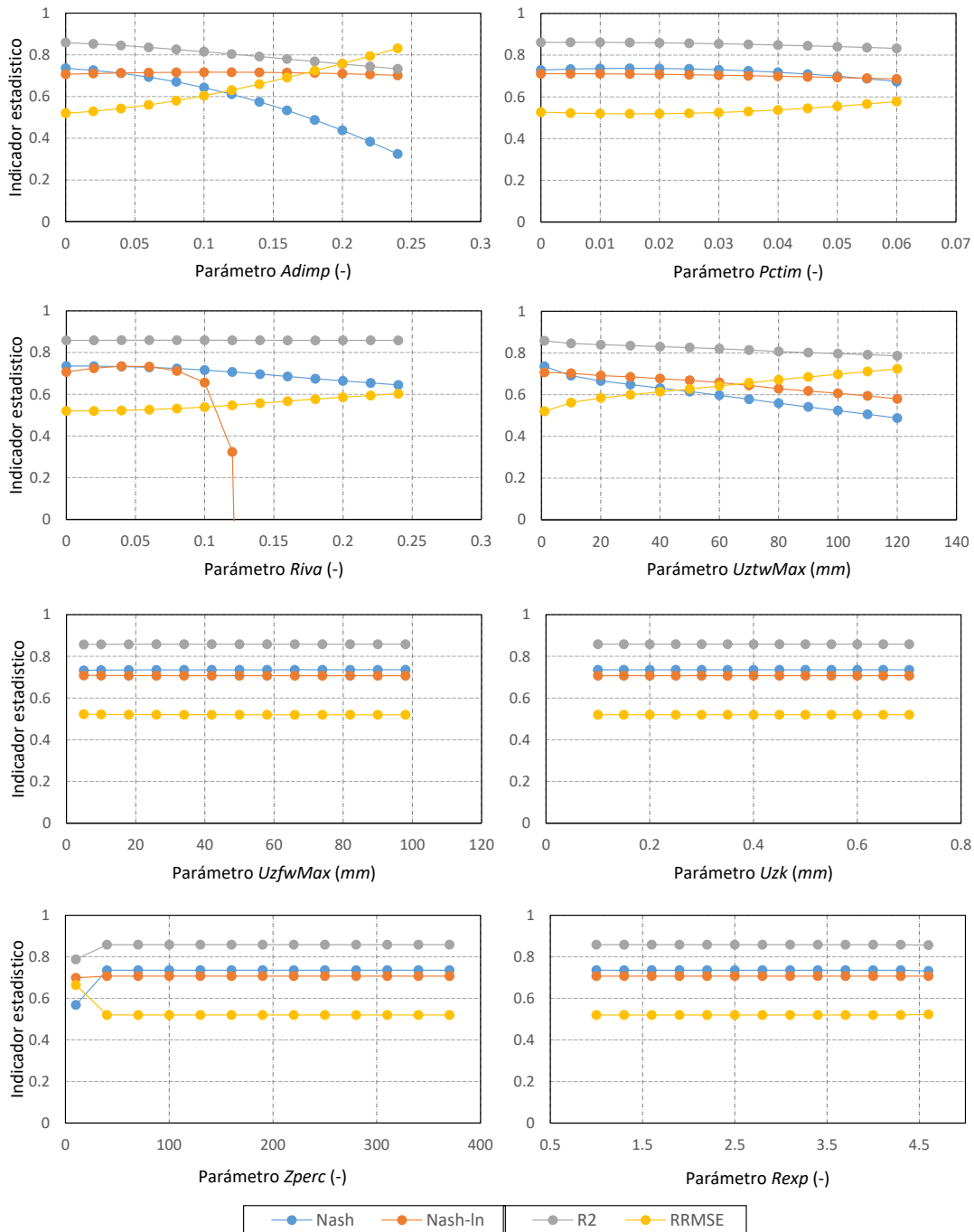
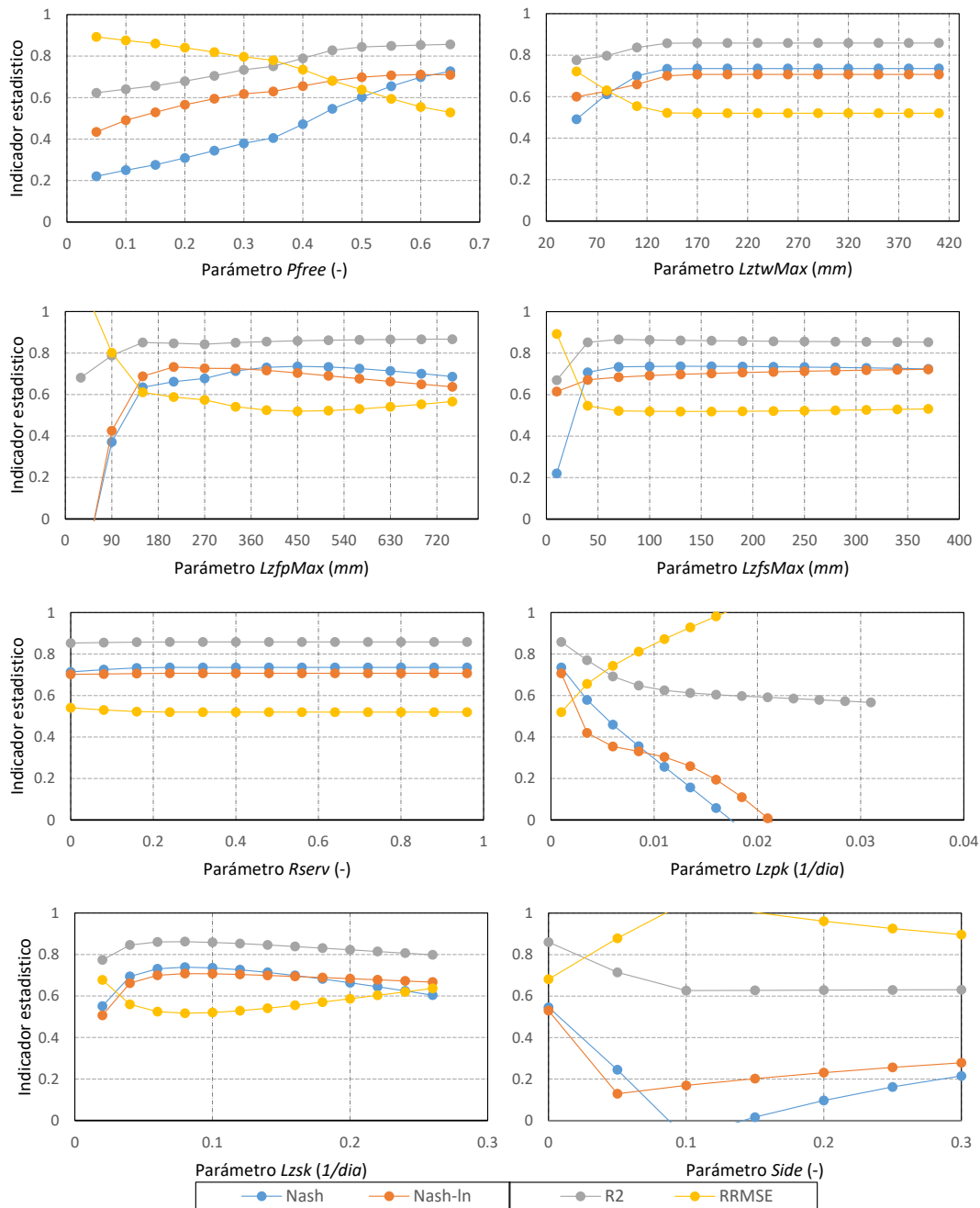


Figura 4.8: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SAC-SMA



(b) Parámetros P_{free} , L_{ztwMax} , L_{zfpMax} , L_{zfsMax} , R_{serv} , L_{zpk} , L_{zsk} y $Side$

Figura 4.8: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo SAC-SMA

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros $Adimp$ y $Pctim$, representan fracciones de áreas impermeables los cuales son causantes de la generación de escorrentía directa, (ver esquema del modelo SAC-SMA, Figura 2.7). En la figura 4.8 se observa una ligera sensibilidad de estos parámetros siendo el parámetro $Adimp$ más inestable, pues para valores altos se observa una disminución sustancial del coeficiente de Nash.

Por otro lado, el parámetro $Riva$ está relacionado con parte del proceso de

evapotranspiración real, siendo este parámetro altamente sensible para el coeficiente de Nash-In, así para valores mayores a 0.07 se observa una disminución de este indicador, por lo que es preciso mencionar que este parámetro tiene gran influencia sobre todo en los caudales de estiaje.

Tabla 4.9: Variación de los parámetros del modelo SAC-SMA

| Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | |
|------------------------|------|---------|--------|-------|-----------|-------|---------|------|-------|------|
| <i>Adimp</i> (−) | 0 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.53 |
| | 0.02 | 0.73 | 0.71 | 0.85 | 0.53 | 0.005 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.04 | 0.71 | 0.71 | 0.84 | 0.54 | 0.01 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.06 | 0.69 | 0.71 | 0.84 | 0.56 | 0.015 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.08 | 0.67 | 0.72 | 0.83 | 0.58 | 0.02 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.1 | 0.64 | 0.72 | 0.82 | 0.6 | 0.025 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.12 | 0.61 | 0.72 | 0.8 | 0.63 | 0.03 | 0.73 | 0.7 | 0.85 | 0.53 |
| | 0.14 | 0.57 | 0.72 | 0.79 | 0.66 | 0.035 | 0.72 | 0.7 | 0.85 | 0.53 |
| | 0.16 | 0.53 | 0.71 | 0.78 | 0.69 | 0.04 | 0.72 | 0.7 | 0.85 | 0.54 |
| | 0.18 | 0.49 | 0.71 | 0.77 | 0.72 | 0.045 | 0.71 | 0.7 | 0.84 | 0.55 |
| | 0.2 | 0.44 | 0.71 | 0.76 | 0.76 | 0.05 | 0.7 | 0.69 | 0.84 | 0.55 |
| | 0.22 | 0.38 | 0.71 | 0.74 | 0.79 | 0.055 | 0.69 | 0.69 | 0.84 | 0.57 |
| | 0.24 | 0.32 | 0.7 | 0.73 | 0.83 | 0.06 | 0.67 | 0.69 | 0.83 | 0.58 |
| <i>Ttint</i> (°C) | 0 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 1 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.02 | 0.74 | 0.72 | 0.86 | 0.52 | 10 | 0.69 | 0.7 | 0.85 | 0.56 |
| | 0.04 | 0.73 | 0.73 | 0.86 | 0.52 | 20 | 0.67 | 0.69 | 0.84 | 0.58 |
| | 0.06 | 0.73 | 0.73 | 0.86 | 0.53 | 30 | 0.65 | 0.69 | 0.84 | 0.6 |
| | 0.08 | 0.72 | 0.71 | 0.86 | 0.53 | 40 | 0.63 | 0.68 | 0.83 | 0.61 |
| | 0.1 | 0.72 | 0.66 | 0.86 | 0.54 | 50 | 0.61 | 0.67 | 0.83 | 0.63 |
| | 0.12 | 0.71 | 0.32 | 0.86 | 0.55 | 60 | 0.6 | 0.66 | 0.82 | 0.64 |
| | 0.14 | 0.7 | -5.61 | 0.86 | 0.56 | 70 | 0.58 | 0.64 | 0.81 | 0.66 |
| | 0.16 | 0.69 | -18.73 | 0.86 | 0.57 | 80 | 0.56 | 0.63 | 0.81 | 0.67 |
| | 0.18 | 0.67 | -37.99 | 0.86 | 0.58 | 90 | 0.54 | 0.62 | 0.8 | 0.68 |
| | 0.2 | 0.66 | -52.85 | 0.86 | 0.59 | 100 | 0.52 | 0.61 | 0.8 | 0.7 |
| | 0.22 | 0.65 | -70.63 | 0.86 | 0.59 | 110 | 0.51 | 0.59 | 0.79 | 0.71 |
| | 0.24 | 0.64 | -85.44 | 0.86 | 0.6 | 120 | 0.49 | 0.58 | 0.79 | 0.72 |
| <i>Riva</i> (−) | 0 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 1 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.02 | 0.74 | 0.72 | 0.86 | 0.52 | 10 | 0.69 | 0.7 | 0.85 | 0.56 |
| | 0.04 | 0.73 | 0.73 | 0.86 | 0.52 | 20 | 0.67 | 0.69 | 0.84 | 0.58 |
| | 0.06 | 0.73 | 0.73 | 0.86 | 0.53 | 30 | 0.65 | 0.69 | 0.84 | 0.6 |
| | 0.08 | 0.72 | 0.71 | 0.86 | 0.53 | 40 | 0.63 | 0.68 | 0.83 | 0.61 |
| | 0.1 | 0.72 | 0.66 | 0.86 | 0.54 | 50 | 0.61 | 0.67 | 0.83 | 0.63 |
| | 0.12 | 0.71 | 0.32 | 0.86 | 0.55 | 60 | 0.6 | 0.66 | 0.82 | 0.64 |
| | 0.14 | 0.7 | -5.61 | 0.86 | 0.56 | 70 | 0.58 | 0.64 | 0.81 | 0.66 |
| | 0.16 | 0.69 | -18.73 | 0.86 | 0.57 | 80 | 0.56 | 0.63 | 0.81 | 0.67 |
| | 0.18 | 0.67 | -37.99 | 0.86 | 0.58 | 90 | 0.54 | 0.62 | 0.8 | 0.68 |
| | 0.2 | 0.66 | -52.85 | 0.86 | 0.59 | 100 | 0.52 | 0.61 | 0.8 | 0.7 |
| | 0.22 | 0.65 | -70.63 | 0.86 | 0.59 | 110 | 0.51 | 0.59 | 0.79 | 0.71 |
| | 0.24 | 0.64 | -85.44 | 0.86 | 0.6 | 120 | 0.49 | 0.58 | 0.79 | 0.72 |
| <i>UzfwMax</i> (mm) | 5 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.1 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 10 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.15 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 18 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.2 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 26 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.25 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 34 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.3 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 42 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.35 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 50 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.4 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 58 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.45 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | | | | | | | | | | |

continúa en la siguiente página

Tabla 4.9 – Continua de la pagina anterior

| Tabla 10. Continúa de la página anterior | | | | | | | | | | |
|--|------|---------|-------|-------|-----------|--------|---------|-------|-------|------|
| Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | |
| | 66 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.5 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 74 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.55 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 82 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.6 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 90 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.65 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 98 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.7 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| Z_{perc} (-) | 10 | 0.57 | 0.7 | 0.79 | 0.66 | 1 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 40 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 1.3 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 70 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 1.6 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 100 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 1.9 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 130 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 2.2 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 160 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 2.5 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 190 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 2.8 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 220 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 3.1 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 250 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 3.4 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 280 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 3.7 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 310 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 4 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 340 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 4.3 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 370 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 4.6 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| P_{free} (-) | 0.05 | 0.22 | 0.43 | 0.62 | 0.89 | 50 | 0.49 | 0.6 | 0.78 | 0.72 |
| | 0.1 | 0.25 | 0.49 | 0.64 | 0.88 | 80 | 0.61 | 0.63 | 0.8 | 0.63 |
| | 0.15 | 0.28 | 0.53 | 0.66 | 0.86 | 110 | 0.7 | 0.66 | 0.84 | 0.55 |
| | 0.2 | 0.31 | 0.57 | 0.68 | 0.84 | 140 | 0.73 | 0.7 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.25 | 0.34 | 0.59 | 0.71 | 0.82 | 170 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.3 | 0.38 | 0.62 | 0.73 | 0.8 | 200 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.35 | 0.41 | 0.63 | 0.75 | 0.78 | 230 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.4 | 0.47 | 0.66 | 0.79 | 0.74 | 260 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.45 | 0.55 | 0.68 | 0.83 | 0.68 | 290 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.84 | 0.64 | 320 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.55 | 0.65 | 0.71 | 0.85 | 0.59 | 350 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.6 | 0.7 | 0.71 | 0.85 | 0.56 | 380 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.65 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.53 | 410 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| Lfp_{Max} (mm) | 30 | -0.3 | -0.33 | 0.68 | 1.15 | 10 | 0.22 | 0.61 | 0.67 | 0.89 |
| | 90 | 0.37 | 0.43 | 0.79 | 0.8 | 40 | 0.71 | 0.67 | 0.85 | 0.55 |
| | 150 | 0.64 | 0.69 | 0.85 | 0.61 | 70 | 0.73 | 0.68 | 0.87 | 0.52 |
| | 210 | 0.66 | 0.73 | 0.85 | 0.59 | 100 | 0.74 | 0.69 | 0.86 | 0.52 |
| | 270 | 0.68 | 0.73 | 0.84 | 0.57 | 130 | 0.74 | 0.7 | 0.86 | 0.52 |
| | 330 | 0.71 | 0.73 | 0.85 | 0.54 | 160 | 0.74 | 0.7 | 0.86 | 0.52 |
| | 390 | 0.73 | 0.72 | 0.86 | 0.52 | 190 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 450 | 0.74 | 0.7 | 0.86 | 0.52 | 220 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 510 | 0.73 | 0.69 | 0.86 | 0.52 | 250 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 570 | 0.73 | 0.68 | 0.86 | 0.53 | 280 | 0.73 | 0.72 | 0.86 | 0.52 |
| | 630 | 0.71 | 0.66 | 0.87 | 0.54 | 310 | 0.73 | 0.72 | 0.85 | 0.53 |
| | 690 | 0.7 | 0.65 | 0.87 | 0.55 | 340 | 0.73 | 0.72 | 0.85 | 0.53 |
| | 750 | 0.69 | 0.64 | 0.87 | 0.57 | 370 | 0.72 | 0.72 | 0.85 | 0.53 |
| R_{serv} (-) | 0 | 0.71 | 0.7 | 0.85 | 0.54 | 0.001 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 |
| | 0.08 | 0.73 | 0.7 | 0.86 | 0.53 | 0.0035 | 0.58 | 0.42 | 0.77 | 0.66 |
| | 0.16 | 0.73 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.006 | 0.46 | 0.35 | 0.69 | 0.74 |
| | 0.24 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.0085 | 0.36 | 0.33 | 0.65 | 0.81 |
| | 0.32 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.011 | 0.26 | 0.3 | 0.63 | 0.87 |
| | 0.4 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.0135 | 0.16 | 0.26 | 0.61 | 0.93 |
| | 0.48 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.016 | 0.06 | 0.19 | 0.6 | 0.98 |
| | 0.56 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.0185 | -0.04 | 0.11 | 0.6 | 1.03 |
| | 0.64 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.021 | -0.14 | 0.01 | 0.59 | 1.08 |
| | 0.72 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.0235 | -0.25 | -0.11 | 0.59 | 1.13 |
| | 0.8 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.026 | -0.35 | -0.23 | 0.58 | 1.18 |
| | 0.88 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | 0.0285 | -0.45 | -0.37 | 0.57 | 1.22 |

continua en la siguiente pagiana

Tabla 4.9 – Continua de la pagina anterior

| Tabla 10. Continúa de la página anterior. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|---------|----|-------|-----------|-------|-------|-------|------|------|---------|----|-------|
| Parámetro | | | | | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE | Parámetro | | | | | Nash | Nash-In | R2 | RRMSE |
| Lzk (mm) | 0.96 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | | | | | 0.031 | -0.56 | -0.51 | 0.57 | 1.26 | | | |
| | 0.02 | 0.55 | 0.51 | 0.77 | 0.68 | | | | | 0 | 0.55 | 0.53 | 0.86 | 0.68 | | | |
| | 0.04 | 0.69 | 0.66 | 0.85 | 0.56 | | | | | 0.05 | 0.25 | 0.13 | 0.71 | 0.88 | | | |
| | 0.06 | 0.73 | 0.7 | 0.86 | 0.52 | | | | | 0.1 | -0.08 | 0.17 | 0.63 | 1.05 | | | |
| | 0.08 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | | | | | 0.15 | 0.02 | 0.2 | 0.63 | 1 | | | |
| | 0.1 | 0.74 | 0.71 | 0.86 | 0.52 | | | | | 0.2 | 0.1 | 0.23 | 0.63 | 0.96 | | | |
| | 0.12 | 0.73 | 0.7 | 0.85 | 0.53 | | | | | 0.25 | 0.16 | 0.26 | 0.63 | 0.93 | | | |
| | 0.14 | 0.71 | 0.7 | 0.85 | 0.54 | | | | | 0.3 | 0.22 | 0.28 | 0.63 | 0.9 | | | |
| | 0.16 | 0.7 | 0.69 | 0.84 | 0.55 | | | | | 0.35 | 0.26 | 0.3 | 0.63 | 0.87 | | | |
| | 0.18 | 0.68 | 0.69 | 0.83 | 0.57 | | | | | 0.4 | 0.29 | 0.31 | 0.63 | 0.85 | | | |
| | 0.2 | 0.66 | 0.68 | 0.82 | 0.59 | | | | | 0.45 | 0.32 | 0.33 | 0.63 | 0.83 | | | |
| | 0.22 | 0.64 | 0.68 | 0.81 | 0.6 | | | | | 0.5 | 0.34 | 0.34 | 0.63 | 0.82 | | | |
| | 0.24 | 0.62 | 0.67 | 0.81 | 0.62 | | | | | 0.55 | 0.36 | 0.35 | 0.64 | 0.81 | | | |
| | 0.26 | 0.6 | 0.67 | 0.8 | 0.64 | | | | | 0.6 | 0.37 | 0.36 | 0.64 | 0.8 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros Uz_{twMax} y Uz_{fwMax} representan a la altura del reservorio de la zona superior, se observa una ligera sensibilidad de estos parámetros. Además, el parámetro Uzk , que relaciona la porción de agua libre que se transforma en el interflujo, presenta una sensibilidad nula según la gráfica (Figura 4.8a).

En la tabla 4.9 se registran las variaciones de las eficiencias por parámetro para el modelo SAC-SMA en ella se destaca la insensibilidad de los parámetros Uz_{fwMax} , Uzk , R_{ex} y Z_{perc} , Por otro lado, el comportamiento de los demás parámetros influyen poco en las variaciones de los indicadores estadísticos de eficiencia.

Los parámetros Z_{perc} , R_{exp} y P_{free} relacionan los procesos de acumulación de agua en la zona superior de agua libre e infiltración de agua hacia la zona baja respectivamente. Al respecto, en la graficas se observa que para valores mayores a 30 unidades el parámetro Z_{perc} no presenta sensibilidad frente a los indicadores estadísticos, mientras que el parámetro R_{exp} , presenta una sensibilidad nula.

Por otro lado, de la figura 4.8b se destaca el parámetro P_{free} , el cual al incrementarse demuestra una gran sensibilidad, incrementando la eficiencia del modelo. Así, este parámetro es uno de los de mayor influencia en el modelo. Los parámetros Lz_{twMax} , Lz_{fpMax} y Lz_{fsMax} relacionan las aturas de los reservorios de agua en tensión, agua libre y agua libre suplementaria de la zona baja. Además, se observa que para valores bajos de estos parámetros existe una respuesta significativa en los indicadores estadísticos sin embargo para valores altos no existe influencia en la respuesta del modelo.

El parámetro R_{serv} y Lz_{sk} que representan la tasa de descarga del agua en tensión y del agua suplementaria libre de la zona baja, presentan poca sensibilidad, así para valores en el rango entre 0 y 1 el parámetro R_{serv} no varía mientras que para valores entre 0.02 y 0.3 la eficiencia de los indicadores estadísticos no bajan de 0.5.

Los parámetros Lz_{pk} y $side$ que representa la tasa de recarga del reservorio de

agua libre primaria y la fracción de agua que se pierde en la capas profundas del suelo respectivamente, presenta una gran sensibilidad. Por lo que calibrar estos parámetros es esencial para una respuesta eficiente del modelo en la cuenca del río Chillón.

Al respecto para valores mayores a 0.005 del parámetro $Lzpk$ se tiene eficiencias menores a 0.5 para el indicador de Nash y Nash-In mientras que los errores se incrementan linealmente llegando valores superiores a 1. Así mismos, para valores alrededor de 0.1 se encuentran las menores eficiencias para el parámetro $Side$ (Figura 4.8b).

4.3. Análisis comparativo de caudales simulados

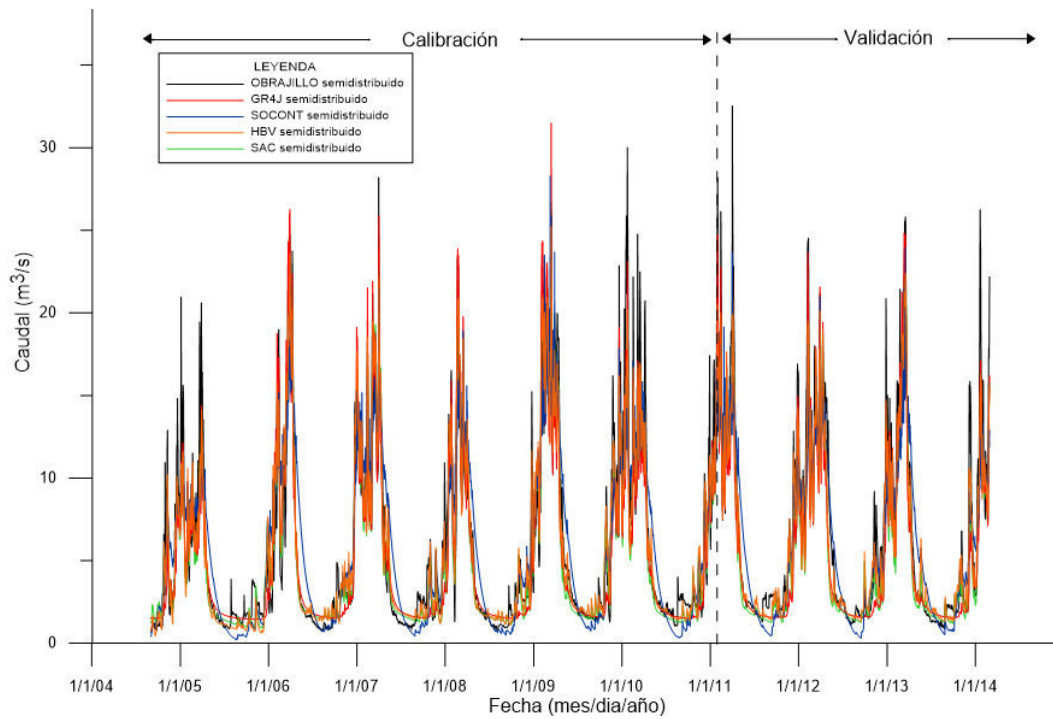
En esta sección se presentan las comparaciones de los cuatro modelos calibrados y validados, realizando comparaciones cualitativas y cuantitativas mediante gráficas y cuadros en donde se exponen la respuesta de los modelos agrupados y semidistribuido mediante indicadores estadísticos de eficiencia.

En secciones anteriores se evaluaron la respuesta de los modelos de manera individual, así como la respuesta de sus parámetros por medio de un análisis de sensibilidad, por lo que, en esta sección se abordará una respuesta en conjunto explorando la respuesta de los modelos. Así, se elaboró gráficas de comparación con los dos enfoques de modelamiento, se realizaron gráficas de dispersión entre las salidas de los modelos y la información de campo, así como gráficas de curva duración. Además, se elaboraron gráficas de percentiles para analizar la respuesta de la simulación para diferentes grados de persistencia.

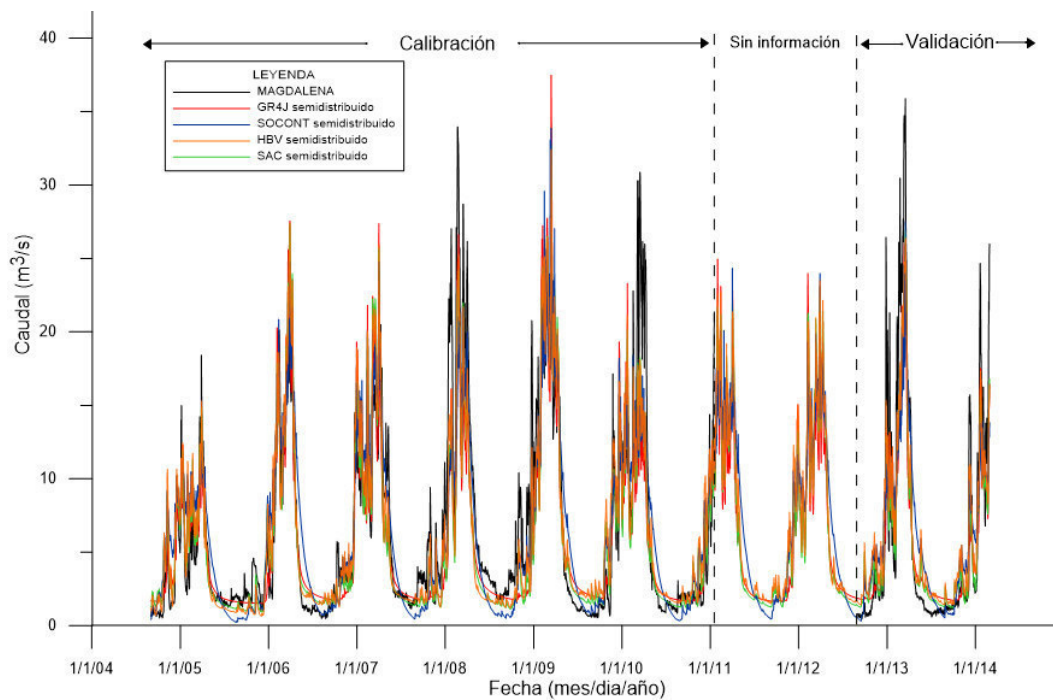
4.3.1. Análisis comparativo: modelos hidrológicos semidistribuidos

En la adecuación de los modelos semidistribuido se realizó la comparación de los hidrogramas simulados con información de aforos de la estación Obrajillo, ubicada en la parte media de la cuenca.

Así, en la figura 4.9a se aprecia el hidrograma de caudales para los cuatro modelos propuestos. Al respecto, los modelos presentan un comportamiento aceptable siendo la salida de caudales similares a los empleados. Se observa que para la etapa de calibración los modelos representan los caudales de avenida así como los caudales de estiaje. En el periodo de validación el modelo presenta también un comportamiento aceptable.



(a) Comparación de modelos, estación hidrológica Obrajillo



(b) Comparación de modelos, estación hidrológica Puente Magdalena

Figura 4.9: Hidrogramas simulados y observados, modelos con enfoque semidistribuido

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.9a](#) se observa la comparación de los hidrogramas de caudales simulados para los cuatro modelos, siendo esta la respuesta en la parte alta de la cuenca. Los caudales simulados fueron comparados con información de caudales de

la estación hidrológica Obrajillo encontrándose una buena representación tanto de los caudales bajos como de avenida. Además, se observa que existe una tendencia a no representar los caudales bajos por parte del modelo SOCONT.

En la [figura 4.9b](#) se observa la comparación de los hidrogramas de caudales simulados para los cuatro modelos, siendo esta la respuesta a la salida de la cuenca. Los caudales simulados fueron comparados con información de caudales de la estación Puente Magdalena, ubicada en punto de desfogue de la cuenca. Los resultados muestran una mayor dispersión en la respuesta de los caudales. Por otro lado, se observa que existe una subestimación de los caudales observados en la etapa de validación.

En general la respuesta de los modelos con enfoque semidistribuido presenta un comportamiento estable, lo cual permite pensar en su uso para el pronóstico de caudales.

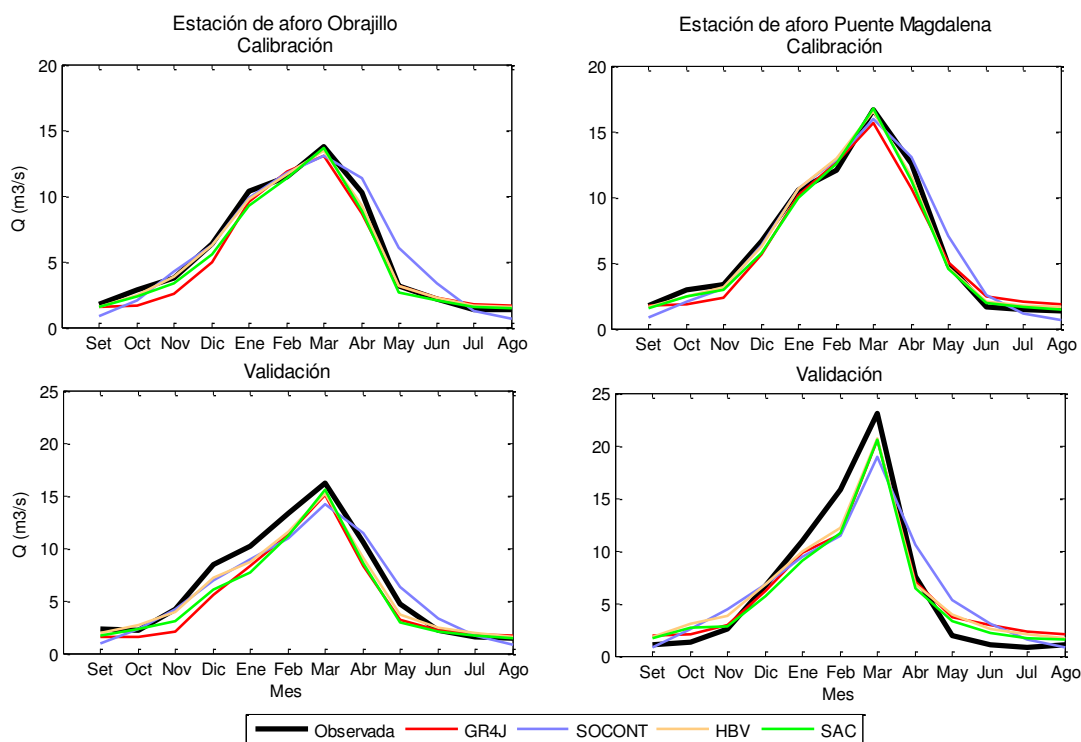


Figura 4.10: Series simuladas y observadas multimensuales, modelos semidistribuidos

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.10](#) se aprecia un buen comportamiento de las series simuladas a paso multimensual para la estación de Obrajillo (ubicada en la parte alta de la cuenca), tanto para el periodo de calibración como para el periodo de validación. La respuesta de los modelos es similar, excepto el modelo SOCONT, el cual tiende a sobreestimar a la serie observada.

Tabla 4.10: Caudales multimensuales simulados y observados: modelos semidistribuidos

| $Q \text{ m}^3/s$ Estación Puente Magdalena | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------|-------|---------|-------|-------|------------|--------|-------|---------|-------|-------|
| Fecha | Calibración | | | | | | Validación | | | | | |
| | GR4J | SOCONT | HBV | SAC-SMA | PROM | OBS | GR4J | SOCONT | HBV | SAC-SMA | PROM | OBS |
| Set | 1.79 | 0.9 | 1.65 | 1.58 | 1.48 | 1.77 | 1.94 | 0.84 | 1.87 | 1.64 | 1.57 | 1 |
| Oct | 1.88 | 2.07 | 2.47 | 2.41 | 2.21 | 3 | 2.05 | 2.6 | 3.05 | 2.65 | 2.59 | 1.31 |
| Nov | 2.38 | 3.09 | 3.13 | 2.95 | 2.89 | 3.35 | 2.88 | 4.44 | 3.8 | 2.86 | 3.49 | 2.55 |
| Dic | 5.62 | 6.39 | 6.25 | 5.71 | 5.99 | 6.66 | 6.2 | 6.81 | 6.78 | 5.68 | 6.37 | 6.66 |
| Ene | 10.15 | 10.61 | 10.61 | 10 | 10.34 | 10.51 | 9.85 | 9.46 | 9.88 | 9.01 | 9.55 | 10.96 |
| Feb | 12.62 | 12.89 | 12.97 | 12.57 | 12.76 | 12.04 | 11.61 | 11.49 | 12.15 | 11.69 | 11.73 | 15.76 |
| Mar | 15.7 | 15.93 | 16.57 | 16.78 | 16.24 | 16.66 | 20.57 | 18.91 | 20.75 | 20.6 | 20.21 | 23.12 |
| Abr | 10.63 | 13.01 | 11.57 | 11.29 | 11.63 | 12.54 | 7.03 | 10.6 | 6.86 | 6.4 | 7.72 | 7.6 |
| May | 5.01 | 7.06 | 4.63 | 4.57 | 5.32 | 4.84 | 3.65 | 5.37 | 3.89 | 3.33 | 4.06 | 1.89 |
| Jun | 2.47 | 2.54 | 2.02 | 1.97 | 2.25 | 1.6 | 2.88 | 3.11 | 2.61 | 2.19 | 2.7 | 1.03 |
| Jul | 2.08 | 1.17 | 1.73 | 1.62 | 1.65 | 1.49 | 2.32 | 1.58 | 2.04 | 1.67 | 1.9 | 0.86 |
| Ago | 1.9 | 0.65 | 1.65 | 1.47 | 1.42 | 1.37 | 2.05 | 0.82 | 1.71 | 1.52 | 1.52 | 1.04 |
| Prom | 6.02 | 6.36 | 6.27 | 6.08 | 6.18 | 6.32 | 6.08 | 6.34 | 6.28 | 5.77 | 6.12 | 6.15 |

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las series simuladas, para los cuatro modelos, en la estación Puente Magdalena (ubicada en la parte baja de la cuenca), tienden a subestimar a la serie observada siendo notorio en el periodo de avenida para la etapa de validación. Mientras que la respuesta de los modelos tiende a aumentar en magnitud al pasar del periodo de calibración al de validación, siguiendo el patrón de la serie observada.

En la [tabla 4.10](#) se presentan los registros de caudales multimensuales simulados y observados en ella se observa y corrobora lo descrito en la [figura 4.10](#). Los caudales simulados en meses de avenida son representados con regularidad, encontrándose errores de hasta 10 % y 25 % para los meses de mayor caudal en la etapa de calibración y validación respectivamente. Por otro lado, los modelos HBV y SAC presentan las menores variaciones. Así, el modelo HBV presenta una variación crítica de 7.7 % en el mes de abril y 22 % en el mes de marzo. Por otro lado, la respuesta los cuatro modelos se muestran estables, a excepción del modelo SOCONT.

En la [figura 4.11](#) se presenta un esquema con las series de tiempo a paso mensual generadas para cada subcuenca del área de estudio (Subcuenca Magdalena) siendo la [tabla 4.11](#) el resumen de los caudales multianuales para cada una de ellas. Del gráfico se aprecia una mayor incertidumbre en la respuesta de los modelos para las subcucencas ubicadas en la parte baja de la cuenca, esto puede deberse a una baja densidad de estaciones en esta zona. Sin embargo, las escorrentías simuladas, ubicadas en la cabecera de la cuenca, presentan un patrón similar en las salidas de los modelos. Cabe resaltar que los mayores aportes de escorrentía están presentes en esta zona.

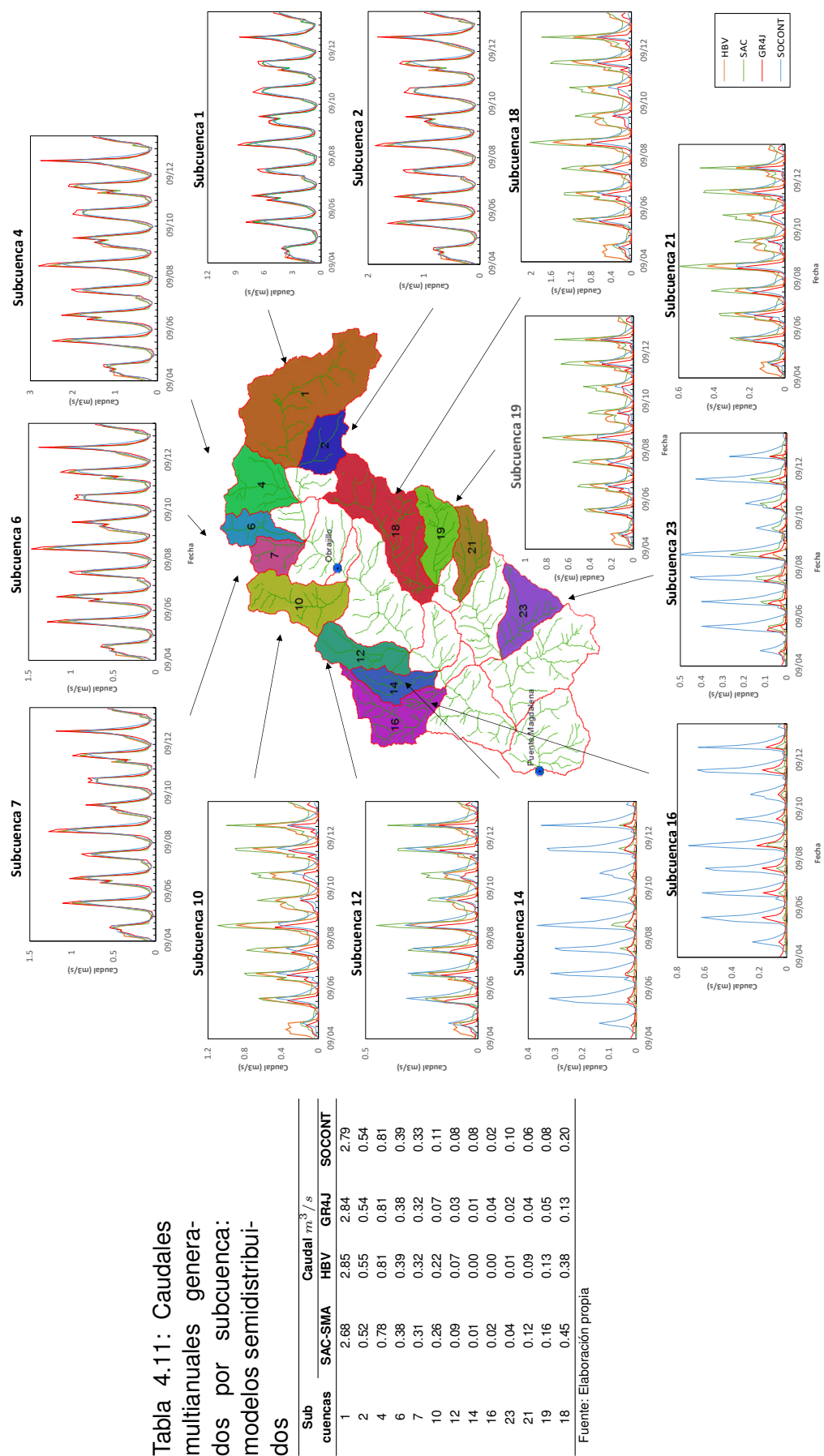
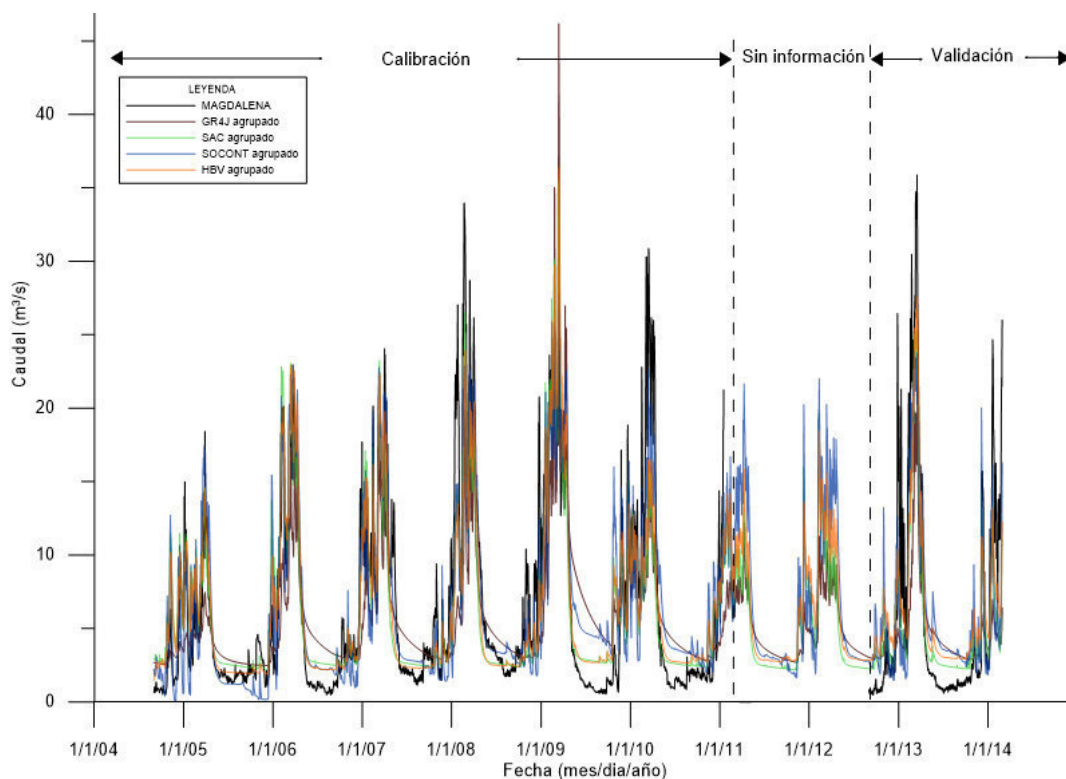


Figura 4.11: Caudales generados por subcuenca, modelos con enfoque semidistribuido

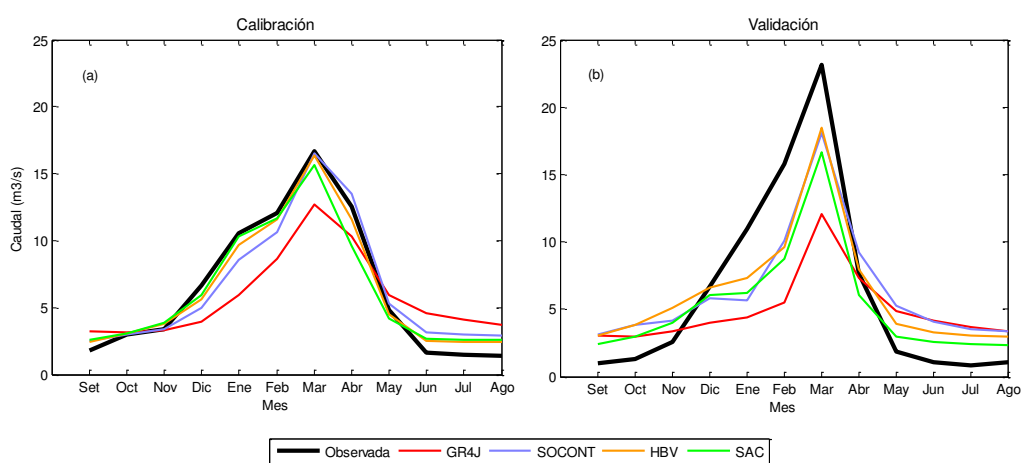
Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Análisis comparativo: modelos hidrológicos agrupados

En la adecuación de los modelos agrupado se realizó la comparación de los hidrogramas simulados con información de aforos de la estación Puente Magdalena. Así, los registros de esta estación representa la escorrentía en la cuenca de estudio.



(a) Comparación de modelos, estación hidrológica Puente Magdalena



(b) Comparación de las series simuladas y observadas multimensuales

Figura 4.12: Hidrogramas simulados y observados, modelos con enfoque agrupado

Fuente: Elaboración propia

Los procesos de calibración de los modelos hidrológicos con enfoque agrupado han

requerido un menor gasto computacional. Por lo que la adecuación de este tipo de enfoque es versátil. En la [figura 4.12a](#) se observa las salidas de los modelos, se aprecia una mayor dispersión, siendo más notorio para el modelo GR4J y SOCONT. Además, en el periodo de validación se observa un comportamiento aún más distinto.

En la [figura 4.12b](#) se muestra la comparación de los caudales simulados a nivel multimensual. Se observa una subestimación de los caudales observados, siendo más evidente en la etapa de validación. Además, los caudales de estiaje son sobrestimados. Por otro lado, el modelo GR4J se aleja del comportamiento de los demás modelos, mientras que el modelo HBV representa mejor los meses de avenidas.

Tabla 4.12: Caudales multimensuales simulados y observados: Modelos agrupados

| Q m ³ /s Estación de aforo Puente Magdalena | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|---------|--------|-------|------------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|
| Calibración | | | | | | Validación | | | | | | |
| FECHA | GR4J | HBV | SAC-SMA | SOCONT | PROM | OBS | GR4J | HBV | SAC-SMA | SOCONT | PROM | OBS |
| Set | 3.24 | 2.39 | 2.58 | 2.51 | 2.68 | 1.77 | 3.04 | 3.06 | 2.4 | 3.09 | 2.9 | 1 |
| Oct | 3.16 | 3.06 | 3.1 | 2.99 | 3.08 | 3 | 3 | 3.82 | 2.96 | 3.87 | 3.41 | 1.31 |
| Nov | 3.28 | 3.79 | 3.85 | 3.4 | 3.58 | 3.35 | 3.33 | 5.1 | 3.99 | 4.16 | 4.15 | 2.55 |
| Dic | 3.91 | 5.63 | 5.9 | 4.95 | 5.1 | 6.66 | 4 | 6.64 | 6.07 | 5.79 | 5.63 | 6.66 |
| Ene | 5.97 | 9.64 | 10.34 | 8.55 | 8.62 | 10.51 | 4.38 | 7.35 | 6.19 | 5.63 | 5.89 | 10.96 |
| Feb | 8.63 | 11.59 | 11.7 | 10.64 | 10.64 | 12.04 | 5.52 | 9.62 | 8.78 | 10.07 | 8.49 | 15.76 |
| Mar | 12.67 | 16.36 | 15.62 | 16.56 | 15.3 | 16.66 | 12.04 | 18.49 | 16.63 | 18.1 | 16.32 | 23.12 |
| Abr | 10.29 | 11.56 | 9.61 | 13.53 | 11.25 | 12.54 | 7.29 | 7.96 | 6.08 | 9.2 | 7.63 | 7.6 |
| May | 5.92 | 4.47 | 4.16 | 5.3 | 4.96 | 4.84 | 4.87 | 3.95 | 3 | 5.23 | 4.26 | 1.89 |
| Jun | 4.6 | 2.52 | 2.69 | 3.18 | 3.25 | 1.6 | 4.18 | 3.28 | 2.6 | 4.09 | 3.54 | 1.03 |
| Jul | 4.07 | 2.43 | 2.61 | 2.99 | 3.03 | 1.49 | 3.68 | 3.02 | 2.44 | 3.5 | 3.16 | 0.86 |
| Ago | 3.68 | 2.41 | 2.55 | 2.94 | 2.89 | 1.37 | 3.34 | 2.97 | 2.36 | 3.33 | 3 | 1.04 |

Fuente: Elaboración propia

En la [tabla 4.12](#) se exponen los registros multimensuales de caudales simulados y observados para los modelos agrupados. Se destaca variaciones entre los caudales simulados y observados de hasta 11 % en la etapa de calibración para el mes de marzo. Sin embargo, para la etapa de validación las variaciones se muestran mayores llegando a 46 % en el mes de febrero. De otro lado, las variaciones son menores para el modelo HBV, siendo de tan solo 3.6 % para la etapa de calibración. Mientras que para la etapa de validación los errores se incrementan hasta 38 %.

A partir de la adecuación de los modelos agrupados se generó caudales multianuales en las subcuencas. Así, en la [figura 4.13](#) se muestra los hidrogramas de caudales a paso mensual para las subcuencas inscritas en el área de estudio. Además, se muestran un cuadro resumen ([Tabla 4.13](#)) en donde se registran los caudales multianuales por subcuenca y por modelos. Además, se observa que existe un comportamiento similar de los hidrogramas simulados para las subcuencas ubicadas en la parte alta de la cuenca de estudio. Al respecto, este comportamiento es similar al de los modelos semidistribuidos.

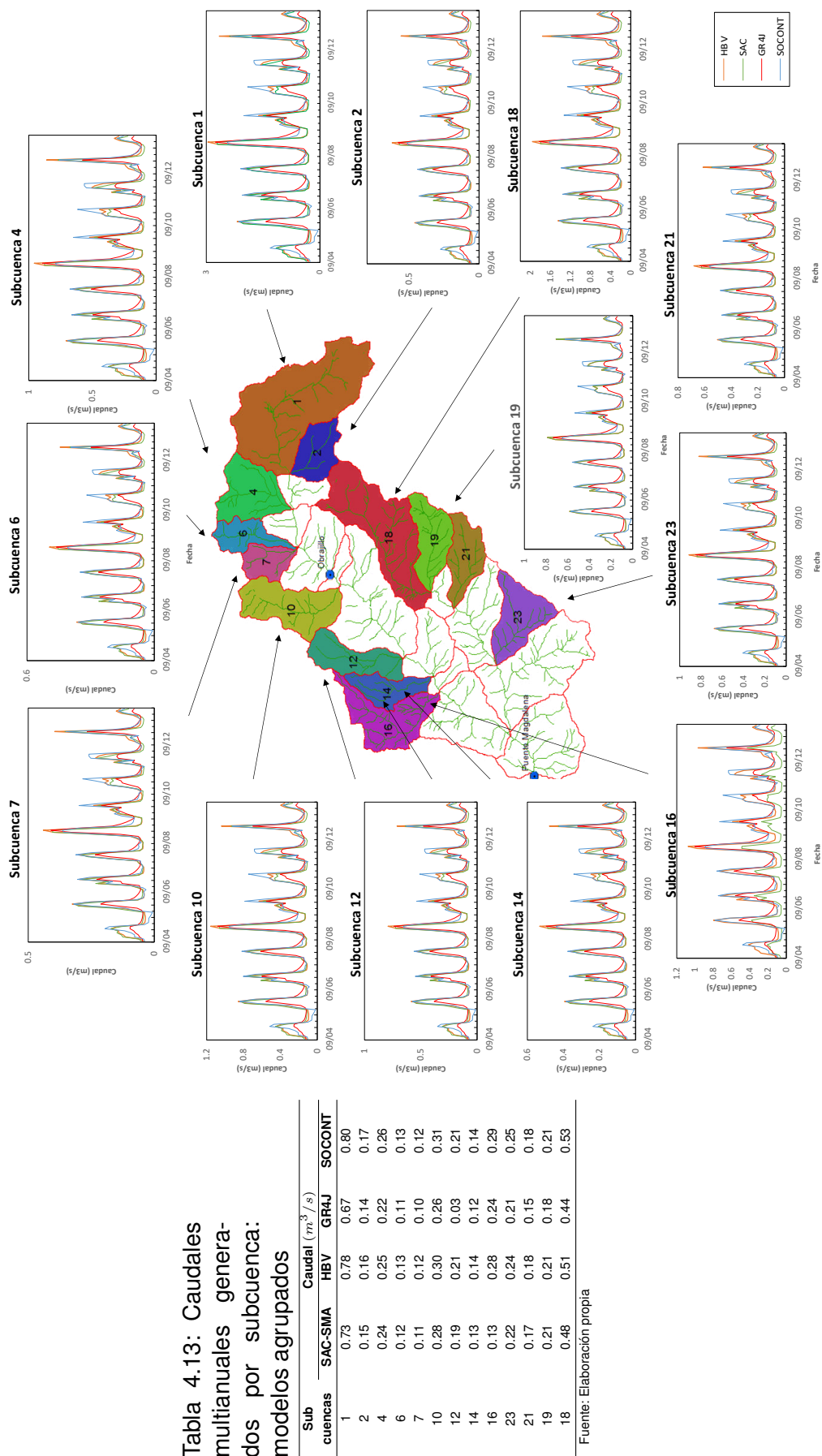


Figura 4.13: Caudales generados por subcuenca, modelos con enfoque agrupados

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Análisis comparativo de la respuesta de los modelos hidrológicos agrupados y semidistribuidos

En secciones anteriores se discutió la respuesta de cada modelo para luego discutir la eficiencia de los enfoques de modelamiento. Por lo que, de aquí en adelante se discutirán la respuesta de los modelos de manera grupal.

Tabla 4.14: Resumen indicadores estadísticos de eficiencia

| Estación de aforo | Proceso | Estadístico | Modelo semidistribuido | | | | Modelo agrupado | | | |
|-------------------|-------------|-------------|------------------------|--------|------|---------|-----------------|--------|------|---------|
| | | | GR4J | SOCONT | HBV | SAC-SMA | GR4J | SOCONT | HBV | SAC-SMA |
| Obrajillo | Calibración | Nash | 0.88 | 0.79 | 0.91 | 0.91 | - | - | - | - |
| | | Nash-In | 0.86 | 0.67 | 0.88 | 0.89 | - | - | - | - |
| | | R | 0.94 | 0.89 | 0.95 | 0.95 | - | - | - | - |
| | | RRMSE | 0.34 | 0.45 | 0.29 | 0.3 | - | - | - | - |
| | Validación | Nash | 0.86 | 0.79 | 0.89 | 0.88 | - | - | - | - |
| | | Nash-In | 0.87 | 0.81 | 0.92 | 0.89 | - | - | - | - |
| | | R | 0.96 | 0.9 | 0.97 | 0.96 | - | - | - | - |
| | | RRMSE | 0.33 | 0.4 | 0.29 | 0.31 | - | - | - | - |
| Magdalena | Calibración | Nash | 0.77 | 0.76 | 0.81 | 0.8 | 0.54 | 0.77 | 0.77 | 0.74 |
| | | Nash-In | 0.79 | 0.62 | 0.78 | 0.8 | 0.5 | 0.49 | 0.74 | 0.7 |
| | | R | 0.89 | 0.87 | 0.9 | 0.9 | 0.74 | 0.87 | 0.88 | 0.86 |
| | | RRMSE | 0.49 | 0.5 | 0.44 | 0.45 | 0.7 | 0.5 | 0.48 | 0.52 |
| | Validación | Nash | 0.8 | 0.73 | 0.85 | 0.83 | 0.41 | 0.71 | 0.75 | 0.7 |
| | | Nash-In | 0.84 | 0.77 | 0.8 | 0.86 | 0.54 | 0.58 | 0.64 | 0.73 |
| | | R | 0.97 | 0.9 | 0.97 | 0.97 | 0.82 | 0.87 | 0.92 | 0.9 |
| | | RRMSE | 0.56 | 0.65 | 0.49 | 0.51 | 0.93 | 0.65 | 0.6 | 0.65 |

Fuente: Elaboración

En la [tabla 4.14](#) se muestra el resumen comparativo de los indicadores estadísticos de eficiencia para los modelos adecuados en el área de estudio. Al respecto, se tiene para los modelos con enfoque semidistribuido dos grupos de indicadores estadísticos. El primero corresponde a la evaluación de los caudales simulados en la parte media de la cuenca, mientras que la segunda corresponde a la salida final de la cuenca, estación Puente Magdalena. Además, se tiene que para los modelos con enfoque agrupado solo se presentan un grupo de indicadores estadísticos, los cuales corresponden a la evaluación de las descargas finales de la cuenca. Esto es debido a la estructuración de los modelos agrupados los cuales modelan una cuenca como una unidad, no permitiendo las salidas intermedias.

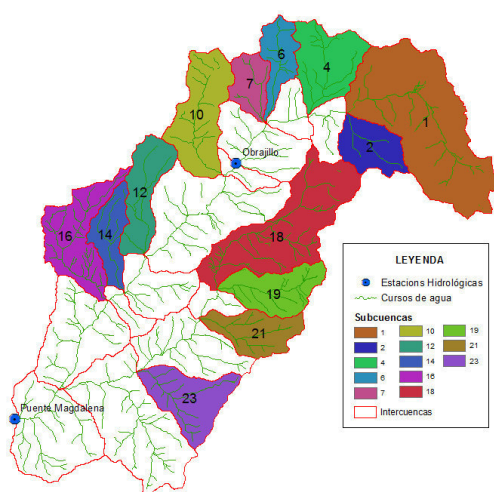
Por otro lado, en la [tabla 4.14](#) se destaca el buen desempeño de los modelos agrupados, quienes presentan eficiencias en el rango de Nash [0.77-0.81] y Nash [0.73-0.85] para la etapa de calibración y validación. Sin embargo, las eficiencias en los modelos agrupados presentan una disminución de 0.15 en promedio, estando el rango de Nash [0.54-0.77] y Nash [0.41-0.75].

El modelo HBV y SAC presentan los mejores desempeño para los modelos con enfoque semidistribuidos con eficiencias de Nash de 0.81 y 0.80 para la etapa de calibración, mientras que las eficiencias se incrementan ligeramente en la etapa de

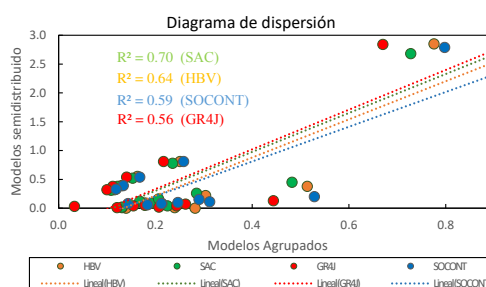
validación con Nash de 0.85 y 0.83 respectivamente. Por otro lado, el modelo GR4J presenta eficiencias similares para el coeficiente de Nash y Nash-In, por lo que este modelo presenta un desempeño aceptable.

Acerca de los errores y como es de esperarse estos se incrementan al pasar de la etapa de calibración a la de validación. Así, los errores para el modelo HBV se incrementan de 0.44 a 0.49, siendo estos los más bajos. El modelo SOCONT, que presenta las menores eficiencias, presenta errores de hasta 0.65. Para los modelos con enfoque agrupado destaca el modelo HBV con eficiencias de Nash de 0.77 (calibración) y 0.75 (validación), siendo su error en la etapa de calibración de 0.48, incrementándose en 0.60 para la etapa de validación. Por otro lado, el modelo SOCONT presenta una eficiencia similar en su indicador estadístico de Nash con valores de Nash de 0.77 y 0.75 así como el modelo SAC (Nash 0.74 y 0.70).

Se resalta el mejor desempeño de los modelos hidrológicos con enfoque semidistribuido respecto a los de enfoque agrupado. Sin embargo, es importante mencionar que no existen grandes diferencias en los indicadores de eficiencia, siendo en promedio variaciones del coeficiente Nash de 0.07 y errores de 0.075.



(a) Subcuenca consideradas para la generación de caudales



(b) Diagrama de dispersión: Modelos con enfoque semidistribuido Vs agrupado

Figura 4.14: Descargas multianuales, enfoque agrupado y semidistribuido

Fuente: Elaboración propia

Los modelos semidistribuido se caracterizan por presentar estabilidad, siendo estos los de mejor respuesta. Los modelos agrupados presentan un ajuste similar pero con mayores errores, lo cual trae como consecuencia inestabilidad en sus hidrogramas de caudales, para los años simulados. Sin embargo, el modelo HBV y SAC con enfoque semidistribuido presenta una mayor robustez pero por debajo de su pares con enfoque semidistribuidos. El modelo SOCONT presenta un comportamiento similar para los dos enfoques de modelamiento.

En la [figura 4.14a](#) se muestran las subcuencas del área de estudio consideradas para la generación de caudales (en colores) así como un diagrama de dispersión entre las descargas generadas de los modelos semidistribuidos vs los agrupados [figura 4.14b](#). En ella se observa un comportamiento semejante entre los modelos SAC y HBV siendo estos los de mayor coeficiente de determinación ($R^2 > 0.6$).

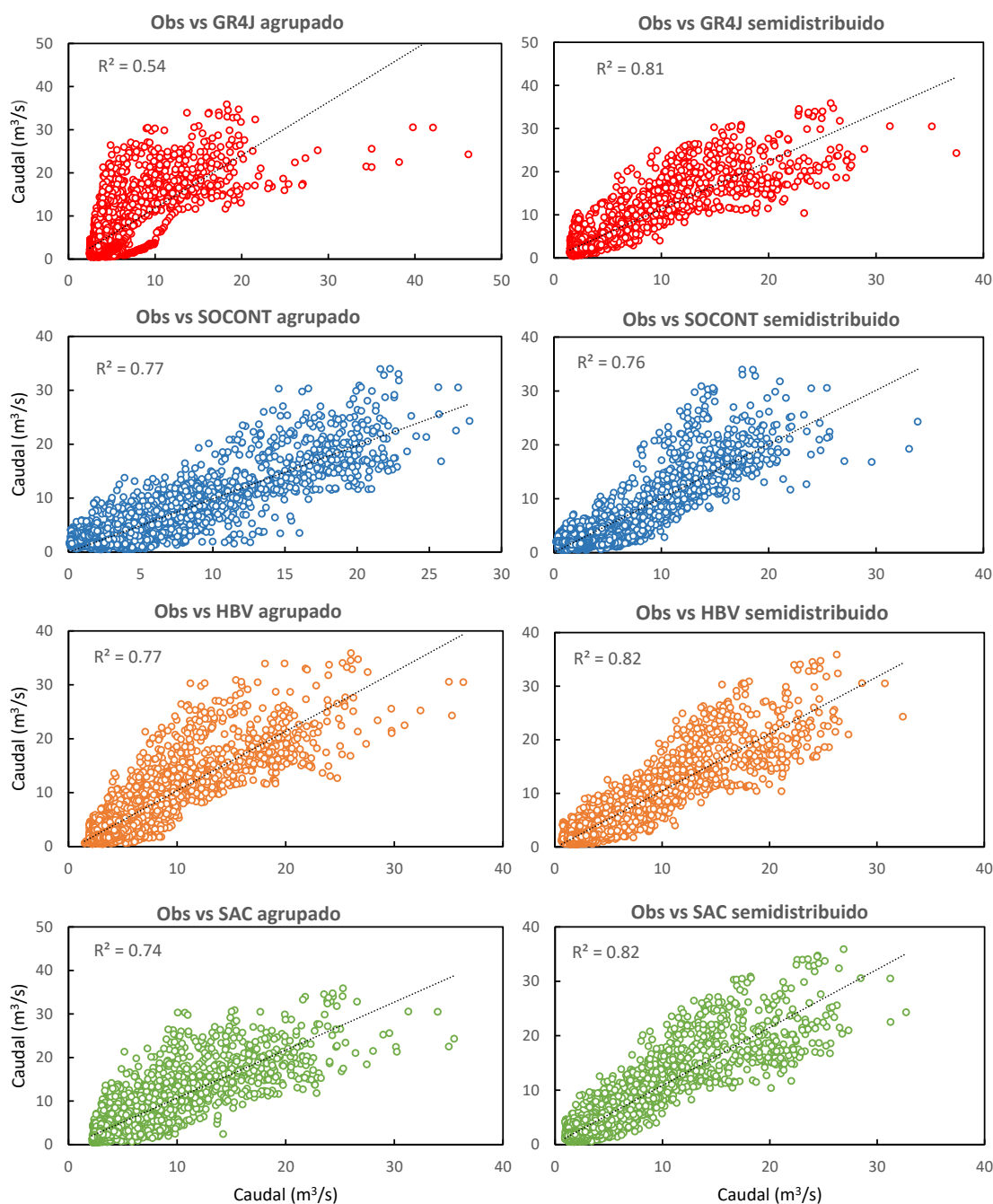
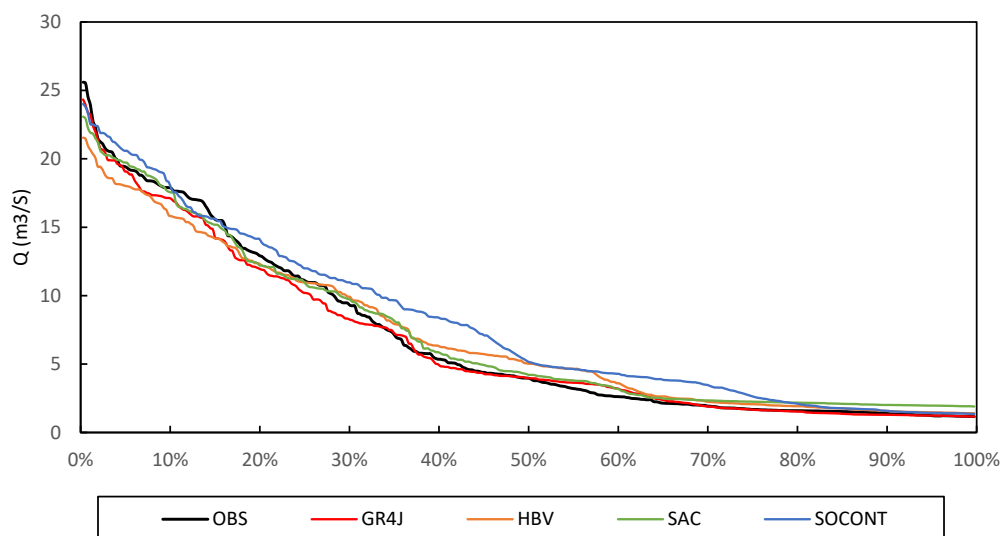


Figura 4.15: Diagrama de dispersión de caudales: observado Vs. modelos con enfoque semidistribuido y agrupado

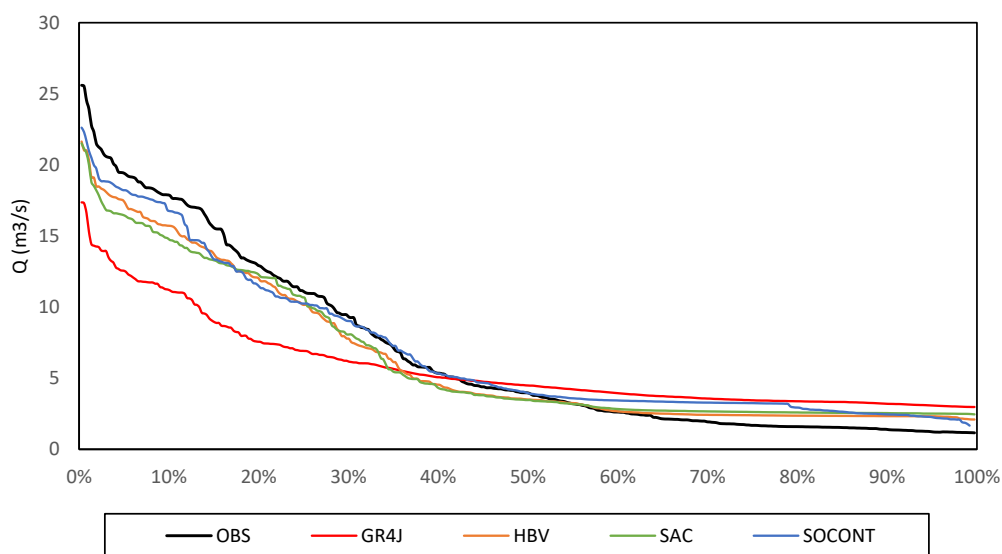
Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.15](#) se muestra los diagramas de dispersión de los modelos con enfoque

agrupado (columna izquierda) y semidistribuidos (columna derecha). En ella se destaca y corrobora el desempeño superior de los modelo con enfoque semidistribuido. Por otro lado, el modelo SOCONT agrupado presenta una respuesta similar que su par con enfoque semidistribuido. Se observa que existen diferencias importantes para el modelo GR4J siendo la variación del coeficiente de R de 0.27.



(a) Curva duración a nivel multidiario - modelos semidistribuidos

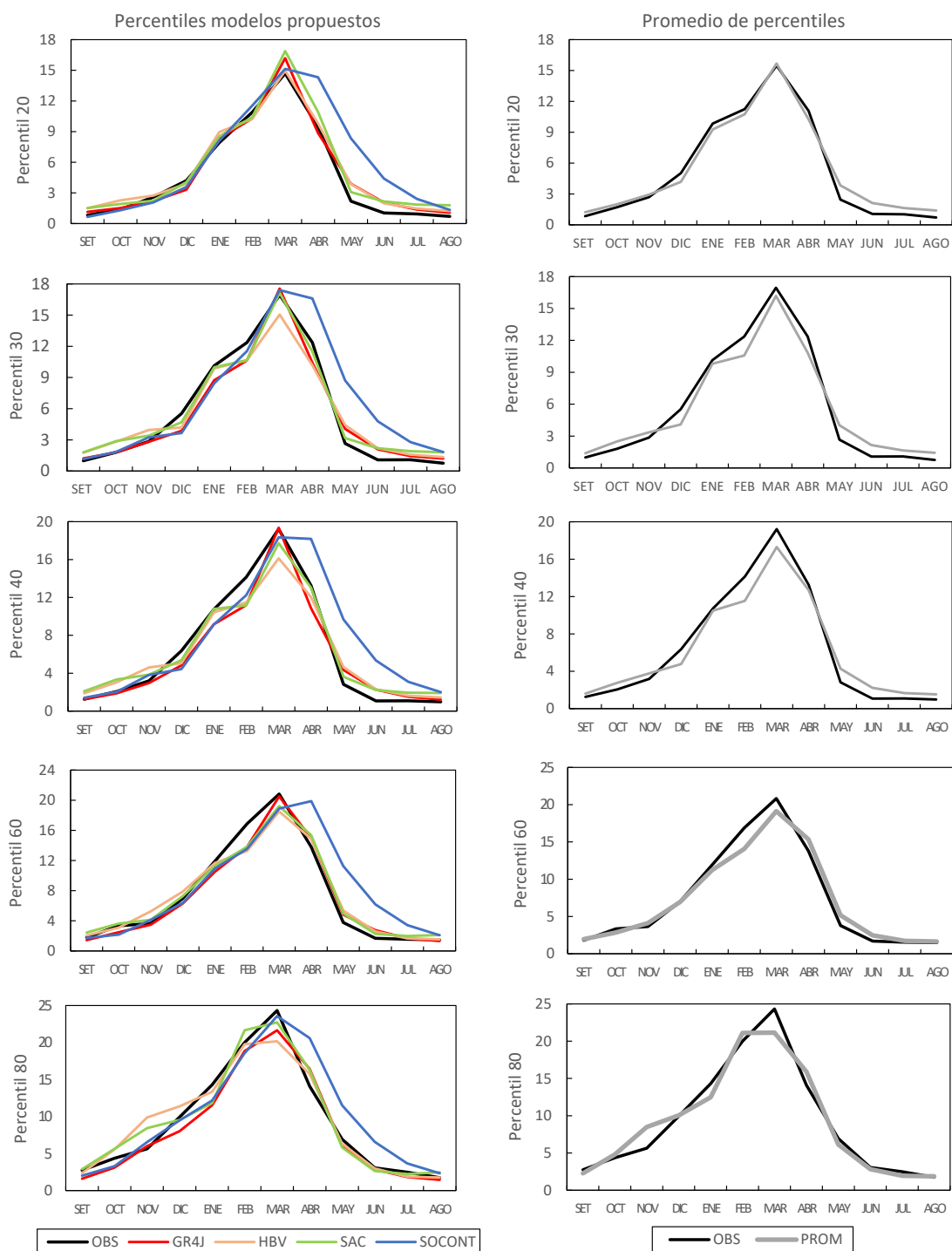


(b) Curva duración a nivel multidiario - modelos agrupados

Figura 4.16: Curvas de duración simuladas y observadas, estación Puente Magdalena
Fuente: Elaboración propia

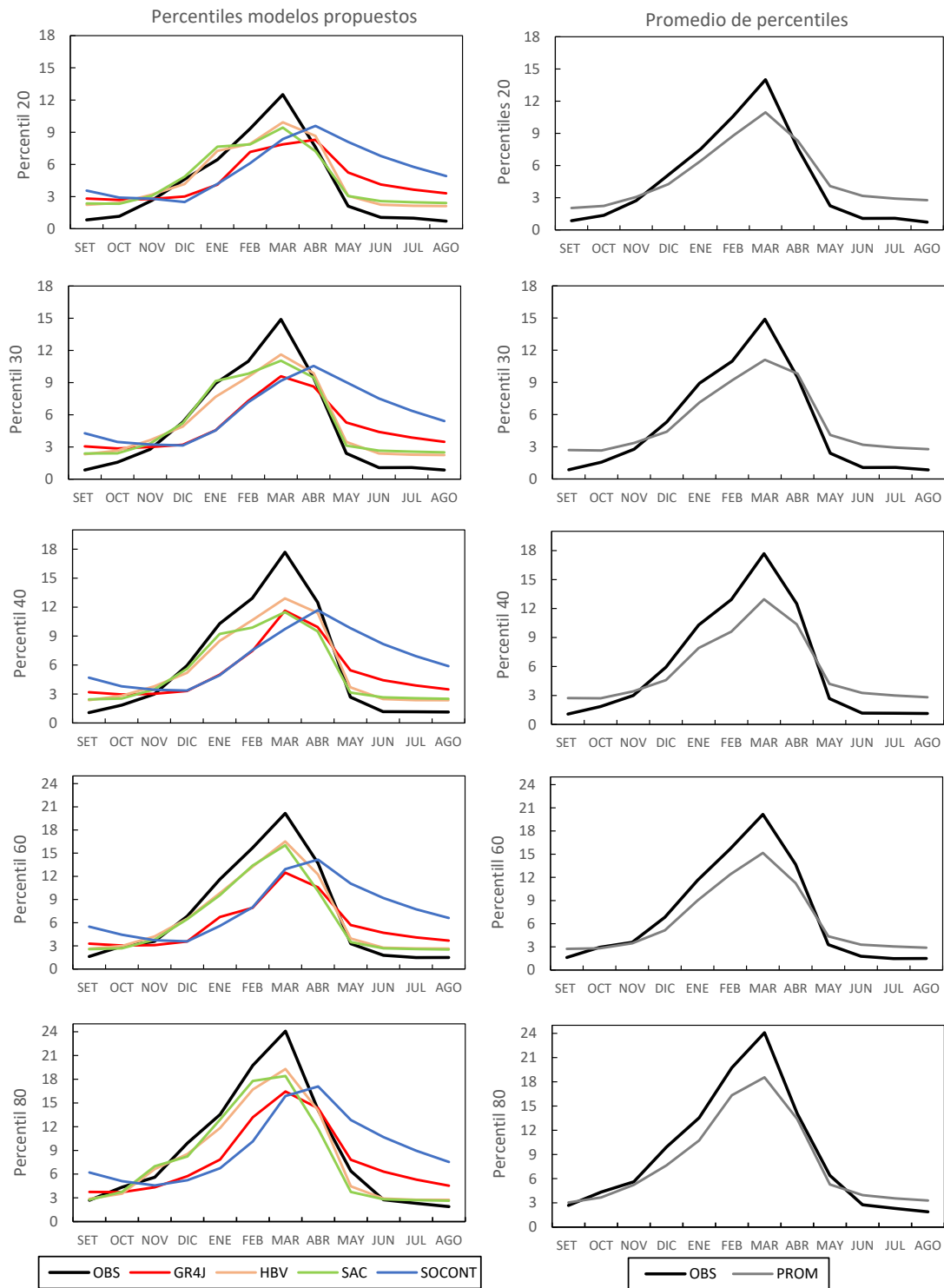
En la [figura 4.16](#) se presenta las curvas de duración multianual para los modelo con enfoque agrupado, al respecto se aprecia un ajuste poco eficiente de la curva de duración real, así para persistencias menores al 40 % la respuesta de los modelos agrupados tienden a subestimar mientras que para persistencias mayores existe una

sobreestimación. Se observa también que el modelo GR4J (enfoque agrupado) se aleja de la tendencia de los demás modelos, siendo el de menor ajuste visual.



(a) Percentiles a nivel multimensual para los modelos con enfoque semidistribuidos

Figura 4.17: Percentiles 20, 30, 40, 60 y 80 para ambos enfoques de modelamiento



(b) Percentiles a nivel multimensual para los modelos con enfoque agrupado

Figura 4.17: Percentiles 20, 30, 40, 60 y 80 para ambos enfoque de modelamiento

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.17a](#) se presentan diferentes percentiles para las series de caudales multimensuales para los modelos semidistribuidos. Se observa ajustes aceptables, en

donde a mayores percentiles se presenta ligeras subestimaciones. En la columna derecha de la [figura 4.17](#) se muestran los valores de percentiles multimensuales para los modelos de mayor respuesta (GR4J HBV y SAC).

En la [figura 4.17b](#) se presentan diagramas similares para los modelos con enfoque agrupado. En ellos se corrobora el menor desempeño de los modelos presentando diferencias visuales entre uno y otro. Los modelos tienden a subestimar en promedio en 27 % los caudales observados para los diferentes percentiles.

4.4. Protocolo operacional de pronóstico diario de caudales

4.4.1. Acerca del POPDC

Para la realización de la propuesta del protocolo de pronóstico de caudales (POPDC), se determinó umbrales de alerta (UA) los cuales dieron lugar a rangos de caudales máximos que califican la alerta por desborde como alto, medio y bajo. Los criterios para la consideración de los umbrales de alerta UA se describen más adelante. Los UA fueron determinados realizando un análisis de frecuencia con información de descargas máximas de la estación Puente Magdalena. Por otro lado, se encontró una relación lineal entre las descargas máximas instantáneas y las descargas medias diarias que permiten proyectar mejor el pronóstico de avenidas en la cuenca.

A partir del establecimiento del POPDC, se realizaron pruebas de pronóstico de caudales a partir de la previsión de lluvia del ETA-SENAMHI y el Weather Research and Forecasting (WRF) gestionadas por el SENAMHI ([Avalos, 2009](#); [Cheng and Steenburgh, 2005](#)). Estas pruebas permiten comprender mejor los desempeños de los modelos propuestos en la presente tesis.

4.4.2. Determinación de umbrales de alerta

4.4.2.1. Análisis de frecuencia

Para la determinación de los umbrales de Alerta (UA) se empleó un registro histórico de caudales máximos instantáneos de 32 años de la estación Hidrológica Puente Magdalena.

En la [tabla 4.15](#) se se presentan el año hidrológico y la fecha específica de las descargas máximas instantáneas producidas en los últimos 40 años.

La información fue sometida a un test de outlayer propuesta por [Grubbs \(1969\)](#) el cual lleva su nombre, revisada más tarde por [Stefansky \(1972\)](#). El test de outlayer de Grubbs, comprueba los valores atípicos de un serie de datos normalmente distribuidos.

Tabla 4.15: Caudales máximos anuales instantáneos, estación Puente Magdalena

| Años hidrológicos | Caudal (m ³ /s) | Fecha | Años hidrológicos | Caudal (m ³ /s) | Fecha |
|-------------------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|-----------|
| 75-76 | 42.5 | 27-Feb-76 | 91-92 | 15 | 20-Mar-92 |
| 76-77 | 65.5 | 02-Mar-77 | 92-93 | 26 | 09-Feb-93 |
| 77-78 | 30.1 | 31-Ene-78 | 93-94 | 36.5 | 05-Mar-94 |
| 78-79 | 47.5 | 10-Mar-79 | 94-95 | 21 | 02-Abr-95 |
| 79-80 | 32.7 | 01-Abr-80 | 95-96 | 45 | 21-Feb-96 |
| 80-81 | 46 | 09-Mar-81 | 96-97 | 42 | 26-Feb-97 |
| 81-82 | 14.5 | 06-Feb-82 | 97-98 | 59.5 | 22-Mar-98 |
| 82-83 | 20 | 01-Abr-83 | 98-99 | 37 | 17-Feb-99 |
| 83-84 | 30 | 10-Feb-84 | 02-Mar | 22.1 | 22-Ene-03 |
| 84-85 | 40 | 19-Mar-85 | 03-Abr | 28.28 | 13-Feb-04 |
| 85-86 | 30 | 30-Ene-86 | 04-May | 24.7 | 29-Mar-05 |
| 86-87 | 35 | 13-Feb-87 | 05-Jun | 24.87 | 22-Mar-06 |
| 87-88 | 38 | 03-Feb-88 | 06-Jul | 29.43 | 01-Abr-07 |
| 88-89 | 47 | 08-Feb-89 | 07-Ago | 41.46 | 24-Feb-08 |
| 89-90 | 14 | 22-Ene-90 | 08-Set | 44.85 | 15-Mar-09 |
| 90-91 | 35 | 18-Mar-91 | 09-Oct | 32.25 | 16-Mar-10 |

Fuente: SENAMHI

Es así que la información fue sometida a una prueba inicial de bondad de ajuste para medir si la serie de datos se ajusta a una función de densidad de probabilidad (f.d.p) normal. Para tal fin, se empleó el test de *Ji-Cuadrado* a un 95 % de confianza encontrándose la aceptación de la prueba.

La aplicación del Test de outlayer de *Grubbs*, muestra que existe dos outlayer en la serie de descargas máximas: 65.5 y 14 m³/s para los años hidrológicos 76/77 y 89/90 respectivamente. Consecuentemente, los valores fueron descartados de la serie histórica de caudales máximos. En la [figura 4.18](#) se aprecian los outlayers en círculo negro.

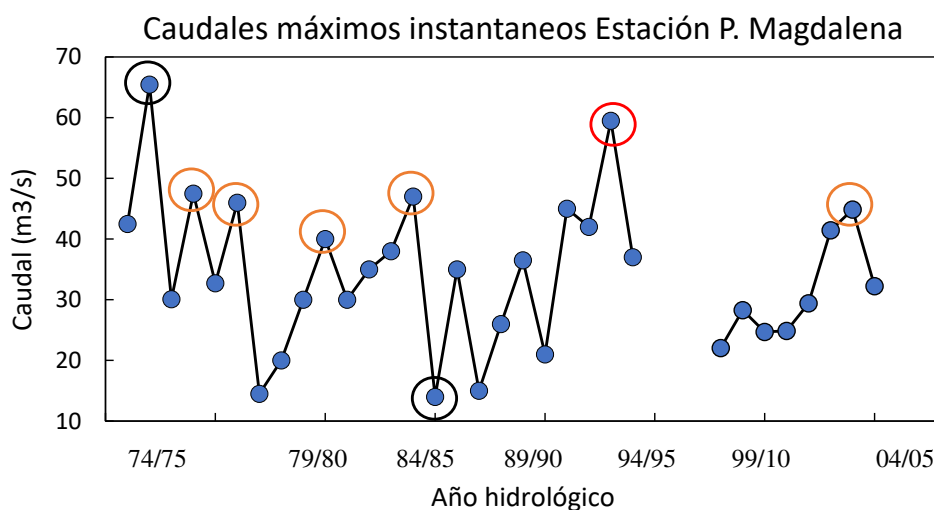


Figura 4.18: Registro histórico de caudales instantáneos máximos anuales 1975-2009

Fuente: Elaboración propia

La [figura 4.18](#) muestra el comportamiento de las descargas máximas en la cuenca del río Chillón, se aprecia un evento de gran caudal (círculo rojo) del cual se conoce fue debido al Fenómeno del Niño ocasionando inundaciones en la parte baja de la cuenca. Por otro lado, se tienen eventos menores (círculo naranja) en donde en ciertos casos han ocasionado ligeros desbordes en la parte baja de la cuenca, como son los años 85/86, 88/89 y 09/10 ([Desinventar, 2013](#)).

A partir de la información observada de caudales se procedió a ajustar a una función de densidad de probabilidad (f.d.p), siendo la distribución Pearson tipo III la de mayor eficiencia. Para evaluar la eficiencia se empleó tres pruebas estadísticas: *Ji-cuadrado* (x^2), *Kolmogorov-Smirnov* (k-s) ([Harter et al., 1984](#)) así como del Criterio de información de *Akaike* (AIC) ([Akaike, 1973](#)).

A partir del ajuste de la serie histórica de caudales se procedió a determinar caudales máximos para tres periodos de retorno, siendo estos los umbrales de alerta.

Tabla 4.16: Resumen de las pruebas empleadas para la determinación de la f.d.p.

| | Modelo probabilístico | Gumbel | Log-Normal | Pearson III |
|---------------------------|-----------------------|----------|------------|-------------|
| Prueba estadística | Ji-Cuadrado (95 %) | Aprobado | Aprobado | Aprobado |
| | Kolmogorov-S (95 %) | Aprobado | Aprobado | Aprobado |
| | Akaike-AIC | 231.96 | 231.75 | 231.41 |

Fuente: Elaboración propia

En la [tabla 4.16](#) se resume la aceptación de las pruebas *Ji-cuadrado* (x^2) y *Kolmogorov-Smirnov* (k-s) así como el valor de prueba de *Akaike* (AIC) para las tres f.d.p consideradas: Gumbel, Log-Normal y Pearson III. El criterio de información AIC primó para la elección de la función Pearson tipo III, el cual asigna el menor valor para la distribución Pearson III.

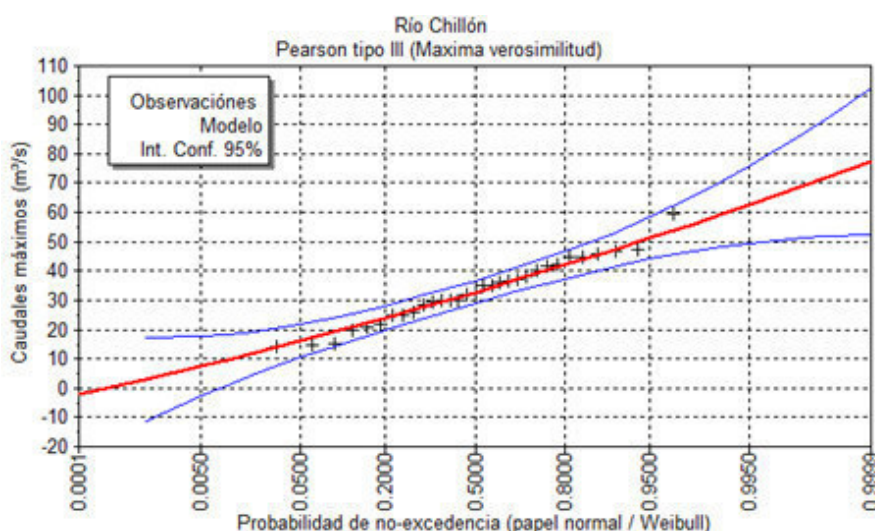


Figura 4.19: Ajuste de la f.d.p Pearson tipo III para las descargas máximas del río Chillón

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2. Umbrales de Alerta

A partir del análisis de frecuencia se determinaron caudales máximos para tres años de retorno (Figura 4.19) siendo estos fijados como UA. Los UA fueron determinados a partir de un criterio estadístico y considerando las evidencias de desbordes en la parte baja de la cuenca recabados en registros a lo largo del tiempo (Desinventar, 2013; INDECI, 2001; INGEMMET, 2015).

Los UA dieron lugar a franjas o intervalos de alerta por inundación (Tabla 4.17 y Figura 4.20), clasificándolos por colores como bajo (amarillo), modera (naranja) y alto (rojo), de esta manera se estableció el PODPC.

Tabla 4.17: Rango de umbrales de alerta temprana

| Percentil | Periodo de retorno [años] | Caudal máximo [m^3/s] | Alerta por Inundación |
|-----------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| {< - 33} | {< - 1.5} | [0 - 30] | Bajo |
| [33 - 66} | [1.5 - 3} | [30 - 38] | Moderado |
| [66 - 95} | [3 - 30} | [38 - 53] | Alto |
| [95 - >} | [30 - >} | [53 - >] | Inundación |

Elaboración propia

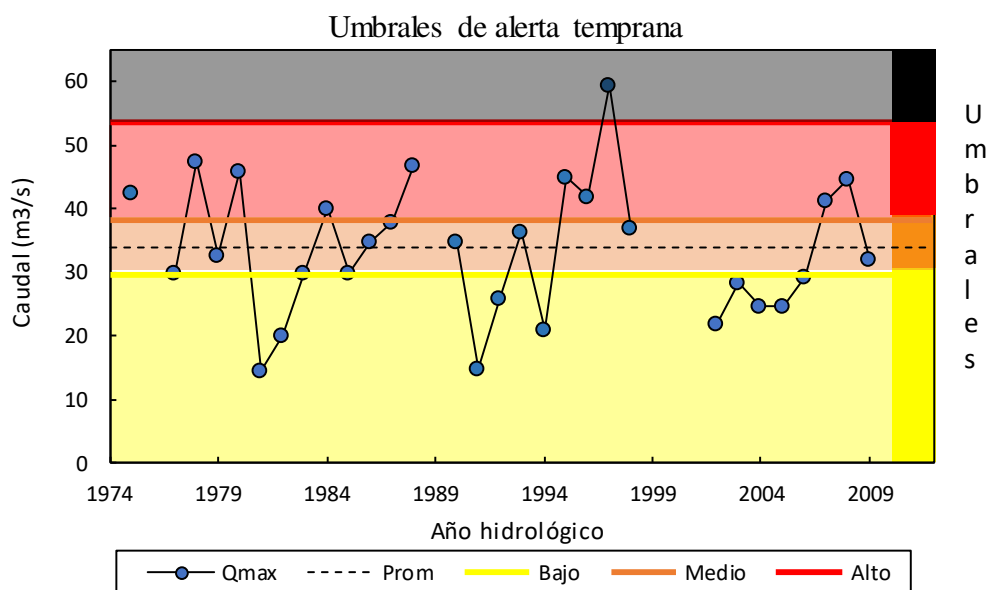


Figura 4.20: Umbrales y franjas de color de alerta por inundación

Fuente: Elaboración propia

a) Umbral de Alerta Amarillo

El umbral de la franja amarilla (Tabla 4.15 y Figura 4.20) fue fijado a partir del percentil 33 de la serie histórica de caudales máximos el cual considera el registro

más reciente producido el mes de marzo del 2010. En dicha fecha se registró una creciente máxima de $32.5 \text{ m}^3/\text{s}$ lo que ocasionó que el nivel de agua se eleve drásticamente en el cauce del río Chillón siendo más notorio en los distritos de Carabayllo y los Olivos (ver [Tabla 4.15](#); [Desinventar \(2013\)](#)).

Con estas consideraciones se estableció el UA amarillo correspondiente a un caudal de $54 \text{ m}^3/\text{s}$ y un tiempo de retorno de 1.5 años. Además, estadísticamente el UA amarillo representa una persistencia de 66 % de la serie histórica.

b) Umbral de Alerta Naranja

El UA naranja fue fijado a partir del percentil 66 de la serie histórica de caudales máximos el cual considera dos eventos extremos acontecidos en la parte baja de la cuenca. Así, se tiene en el distrito de Carabayllo en el año 1999 una descarga máximas de $37 \text{ m}^3/\text{s}$ que ocasionaron ligeros desbordes ([Desinventar, 2013](#)). Con estas consideraciones se estableció el UA amarillo correspondiente a un caudal de $29.8 \text{ m}^3/\text{s}$ y un tiempo de retorno de 3 años. Además, estadísticamente el UA amarillo representa una persistencia de 33 % de la serie histórica.

c) Umbral de Alerta Rojo

El UA Rojo fue establecido a partir de la media de los eventos que se conoce ocasionaron desbordes. De esta manera se consideró los eventos de los años 1995 y 2009 en donde se registraron ligeros desbordes en los distritos de Ventanilla y San Martín de Porres (Urb. San Diego) y amenazó el distrito de Comas ([INGEMMET, 2015](#); [La República, 2009](#)) con un caudal máximo de $45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por otro lado, se tiene el evento del año 1998 que influenciado por el Fenómeno del Niño registró un caudal de $59.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ocasionando severas inundaciones en el distrito de Carabayllo ([Desinventar \(2013\)](#), ver [Tabla 4.15](#)). Es preciso mencionar también la inundación en la urb. San Diego, en San Martín de Porres acontecido en 2001 del cual no se tiene registro, sin embargo se conoce fue de mayor intensidad que del año 1998.

Con estas consideraciones se estableció los UA los cuales dieron lugar a las franjas de colores que permiten calificar un valor de descarga como alerta por desborde: Bajo, moderado, alto e inundación.

Es importante mencionar que como perspectiva de la presente tesis se recomienda realizar un modelamiento hidráulico a fin de contrastar los valores fijados para los UA. Además, estudios de esta naturaleza permitirán dar lugar a nuevos estudios de investigación que potencialmente podrían dar lugar nuevas trabajos de tesis y/o publicaciones.

4.4.3. Relación empírica entre las descargas máximas diarias instantáneas y medias

Eventos extremos registrados a lo largo de la historia son producto de un aumento repentino del caudal en un tiempo determinado del día. Sin embargo, los registros diarios de descargas empleados para el modelamiento representan el valor promediado del día. En tal sentido, es necesario encontrar una relación empírica entre la descarga máxima y las descargas medias diarias.

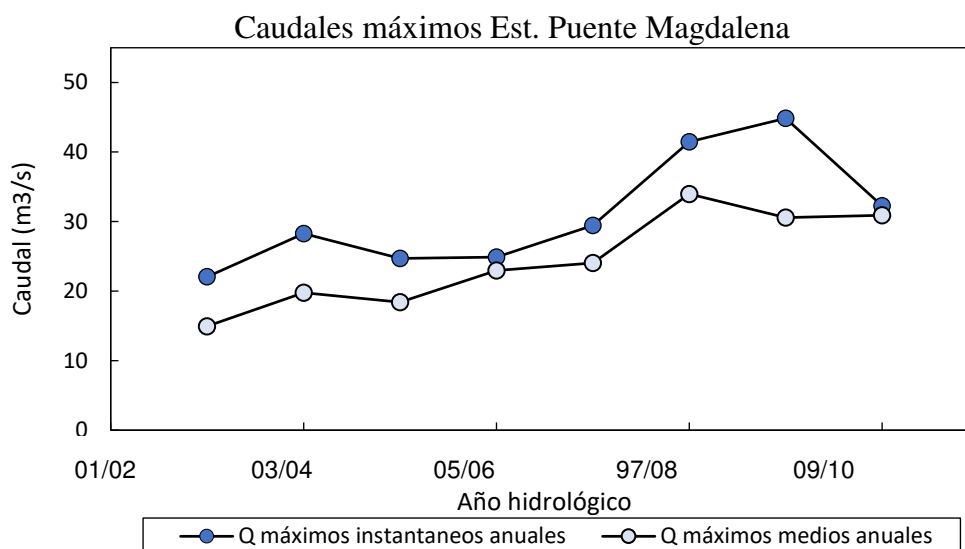


Figura 4.21: Descargas máximas instantáneas y descargas medias diarias por año

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18: Caudales máximos anuales instantáneos, estación Puente Magdalena

| Año Hidrológico | Medios diaria (m3/s) | Instantánea (m3/s) |
|-----------------|----------------------|--------------------|
| 02-Mar | 15 | 22.1 |
| 03-Abr | 19.7 | 28.3 |
| 04-May | 18.4 | 24.7 |
| 05-Jun | 23 | 24.9 |
| 06-Jul | 24 | 29.4 |
| 07-Ago | 34 | 41.5 |
| 08-Set | 30.6 | 44.9 |
| 09-Oct | 30.9 | 32.2 |
| Promedio | 24.4 | 31 |

Fuente: Elaboración propia

En la [figura 4.21](#) se observa un comportamiento similar de las descargas máximas frente a los valores medios, sin embargo se observa que para el año 2008 existe poca coherencia entre estas series, esto puede deberse a algún error en el registro o la

activación de alguna quebrada que elevó el valor instantáneo del caudal.

Con este propósito se empleó las descargas anuales máximas instantáneas del récord histórico de la estación Puente Magdalena así como de los registros medios diarios del periodo de modelamiento. En total se tiene dos series de 8 registros (Tabla 4.18).

Se determinó una relación lineal entre los registros (Figura 4.22), así se tiene una coeficiente de correlación de 0.76, el cual corrobora una buena dependencia de las descargas máximas frente a los valores medios. De esta manera es posible emplear la ecuación empírica lineal generada a partir del diagrama de dispersión.

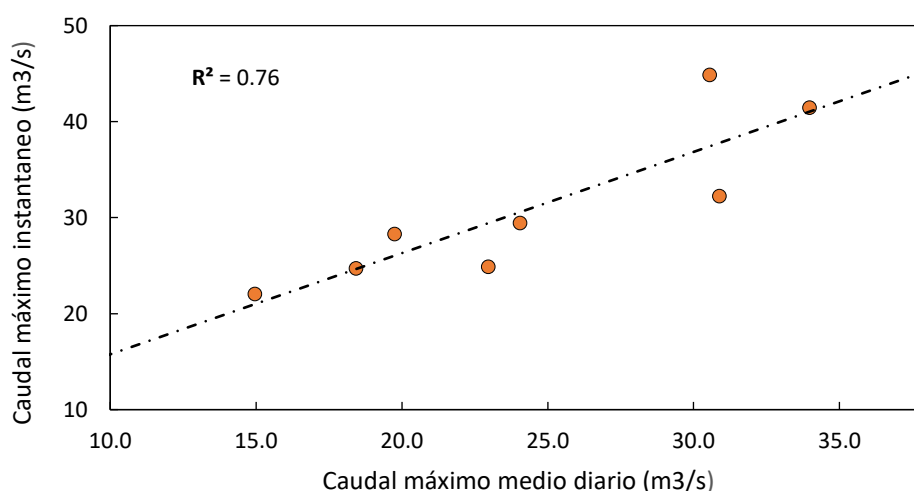


Figura 4.22: Diagrama de dispersión de las descargas máximas anuales

Fuente: Elaboración propia

Así, se tiene la Ec. 4.1 la cual permitirá generar descargas máximas a partir de las salidas de las descargas medias diarias de los modelos propuestos en esta tesis.

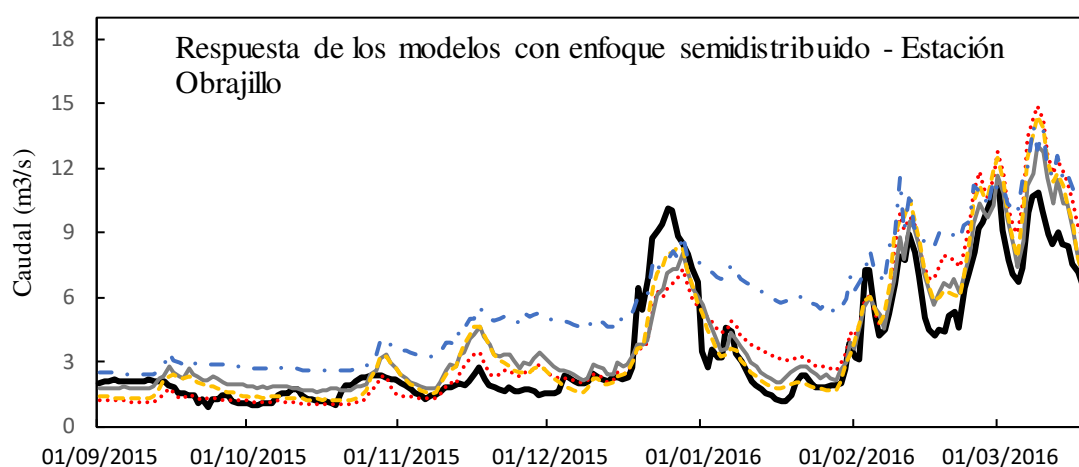
$$Q_{max} = 1.054\overline{Q}_{max} + 5.22 \quad 4.1$$

Donde: Q_{max} es la descarga máxima instantánea diaria [L^3/T] y \overline{Q}_{max} es la descarga máxima medio diaria [L^3/T].

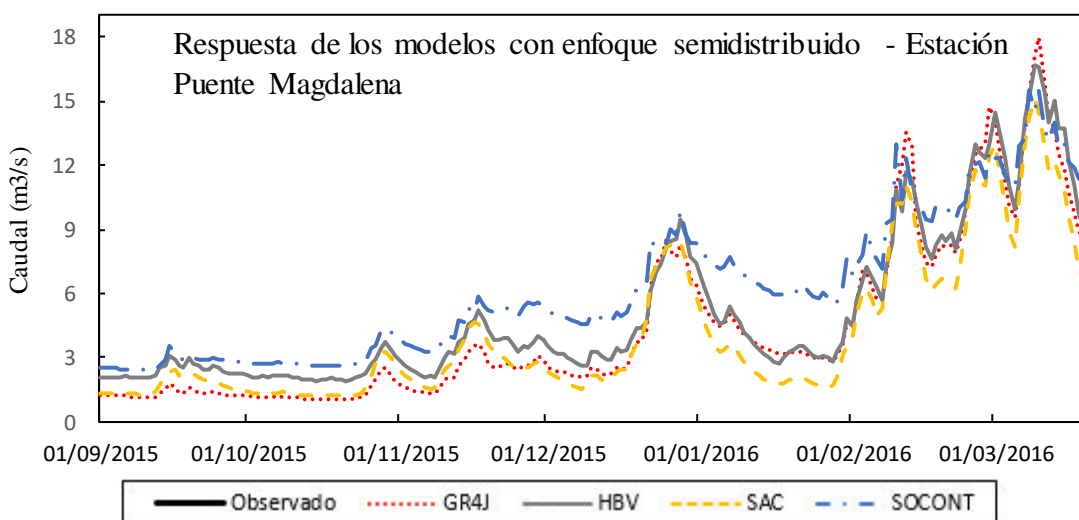
4.4.4. Pronóstico de caudales a partir de la previsión de lluvia ETA-SENAMHI y WRF

A partir de la adecuación de los dos enfoques de modelamiento y del buen desempeño de los modelos semidistribuidos se procedió a evaluar los modelos con información de precipitación futura. Consecuentemente, se empleó las salidas de la previsión de lluvias del ETA-SENAMHI y el Weather Research and Forecasting WRF (Avalos, 2009; Cheng and Steenburgh, 2005) administradas por el SENAMHI.

Con la finalidad de poder realizar pruebas de pronóstico se extendió el periodo de modelamiento de los modelos hasta el mes de marzo del 2016 y se evaluó los modelos más allá del periodo de validación. Así, se tiene en la [figura 4.23](#) los hidrogramas de caudales simulados para este año. En la [figura 4.23a](#) se comparan los caudales simulados con respecto a la serie de caudales de la estación Obrajillo. Se observa un comportamiento aceptable por parte de los modelos SAC y HBV, los cuales reproducen las avenidas sobreestimando ligeramente, siendo el caso también del modelos GR4J. El modelo SOCONT, no reproduce con detalle las avenidas, subestimándolas mientras que los estiajes son poco representativos. En la [figura 4.23b](#) tiene los hidrogramas simulados para la estación Puente Magdalena los cuales mantiene el comportamiento visto en la estación Obrajillo. Sin embargo, como se observa hasta la actualidad no existen registros observados.



(a) Estación Obrajillo



(b) Estación Puente Magdalena

Figura 4.23: Serie de caudales diarios para el año 2016

Fuente: [Astorayme et al. \(2016a\)](#)

Como se muestra en la [tablas 4.19 y 4.20](#) se realizaron ensayos de pronósticos de caudales a 03 días. Así, se tiene el resumen de los pronósticos para los días 19, 20 y 21 de marzo del 2016. Estas fechas fueron elegidas pues es en donde ocurre un cambio del comportamiento del hidrograma en la estación Obrajillo y Puente Magdalena ([Figura 4.23](#)). Sin embargo, se comprende que tres días de prueba no son suficientes por lo que se prevé futuros ensayos. Ante todo, la intención de los ensayos tiene como fin realizar una evaluación preliminar del comportamiento de los modelos en la etapa de pronóstico.

En estas fechas se tiene un comportamiento diferenciado entre los modelos HBV y SAC, los cuales presentan un acercamiento aceptable de los caudales observados (estación H-Obrajillo), frente al modelo SOCONT Y GR4J ([Tablas 4.19 y 4.20](#)).

Tabla 4.19: Pronósticos para los días 19, 20 y 21 de abril, Estación Obrajillo

| Fecha | | GR4J | | SOCONT | | HBV | | SAC-SMA | | Estación |
|------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Pronóstico | | ETA | WRF | ETA | WRF | ETA | WRF | ETA | WRF | Obrajillo |
| [Días] | | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] |
| 19/03/16 | 19 | 8.1 | 8.2 | 10.2 | 10.2 | 6.1 | 6.5 | 6 | 6.1 | 6.3 |
| | 20 | 8.3 | 8.2 | 10 | 10.6 | 5.4 | 6.4 | 6.7 | 6 | 6.4 |
| | 21 | 10.5 | 9.2 | 15.5 | 11.3 | 8.7 | 7.8 | 8.2 | 6.6 | 6.8 |
| 20/03/16 | 20 | 7.8 | 9.2 | 10.2 | 10.2 | 6.2 | 6.2 | 5.4 | 9.4 | 6.4 |
| | 21 | 8.6 | 15.2 | 10.2 | 21.7 | 6.1 | 13.2 | 7.1 | 14.4 | 6.8 |
| | 22 | 12.5 | 16.2 | 18.2 | 13.2 | 10.6 | 14.1 | 10.1 | 15 | 6.7 |
| 21/03/16 | 21 | 8.7 | 9.3 | 10.9 | 10.9 | 6.9 | 6.9 | 6.7 | 8.8 | 6.8 |
| | 22 | 10.8 | 13.9 | 13 | 17.5 | 12.3 | 9.2 | 8.1 | 12.6 | 6.7 |
| | 23 | 11.2 | 13.7 | 12 | 12.5 | 12.3 | 9.4 | 9.2 | 12.2 | 6.1 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.20: Pronósticos para los días 19, 20 y 21 de abril, Estación Puente Magdalena

| Fecha | | GR4J | | SOCONT | | HBV | | SAC-SMA | | Estación |
|------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Pronóstico | | ETA | WRF | ETA | WRF | ETA | WRF | ETA | WRF | P. Magdalena |
| [Días] | | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] |
| 19/03/16 | 19 | 8.4 | 8.4 | 11.1 | 11.1 | 8.8 | 9.3 | 6.3 | 6.4 | - |
| | 20 | 8.5 | 8.4 | 10.7 | 11.5 | 8 | 9.2 | 7 | 6.3 | - |
| | 21 | 10.7 | 9.4 | 17.1 | 12.5 | 11.8 | 10.8 | 9 | 7.2 | - |
| 20/03/16 | 20 | 8 | 9.4 | 11.1 | 11.1 | 8.9 | 8.9 | 5.7 | 9.8 | - |
| | 21 | 8.8 | 15.4 | 11 | 23.6 | 8.8 | 16.7 | 7.6 | 15.5 | - |
| | 22 | 12.9 | 16.9 | 20.5 | 15.3 | 14.2 | 17.9 | 11.6 | 16.2 | - |
| 21/03/16 | 21 | 8.9 | 9.5 | 11.8 | 11.8 | 9.7 | 9.7 | 7.1 | 9.3 | - |
| | 22 | 11.1 | 14.2 | 14.6 | 19.2 | 15.7 | 12.4 | 9 | 13.5 | - |
| | 23 | 11.9 | 14.4 | 13.8 | 14.2 | 15.7 | 12.7 | 10.1 | 13.1 | - |

Fuente: Elaboración propia

El modelo GR4J tiende a sobreestimar la información observada, siendo el modelo SOCONT poco representativo. Por otro lado, se observa que los pronósticos en el segundo y tercer día presentan una menor representación, lo cual es razonable pues a mayor distancia se debe esperar una mayor incertidumbre. Además, se tiene que

las descargas pronosticadas por parte de la previsión de lluvia del WRF tienden a sobreestimar.

Así, se tienen variaciones promedios para pronósticos a 24 horas de 4 % para los modelos HBV y SAC, mientras que estas variaciones se incrementan en un margen de 30 % para el modelo GR4J, siendo el modelo SOCONT no representativo. Las descargas pronosticadas por parte del ETA-SENAMHI guardan una variación promedio de 6 % mientras que para el WRF se tiene una variación de 26 %. Cabe resaltar que las variaciones porcentuales aquí y en adelante no contemplan al modelo SOCONT.

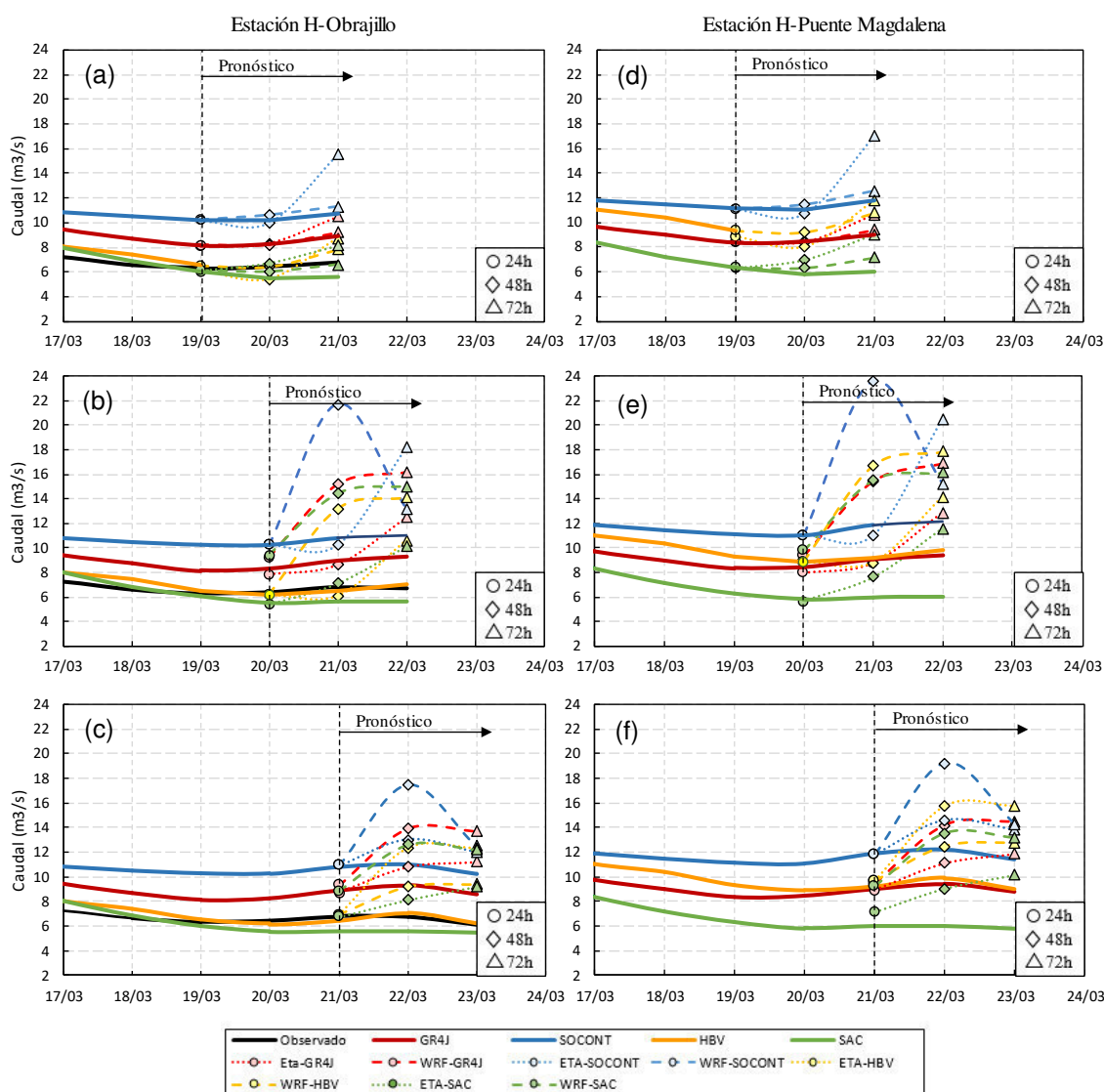


Figura 4.24: Pronósticos de caudales para los modelos con enfoque semidistribuido

Fuente: Elaboración propia

Para pronósticos a 48 horas se tienen variaciones mayores que en promedio se tiene un valor de 28.4 % para la previsión de lluvia del Eta-SENAMHI, mientras que las descargas pronosticadas para el WRF superan este valor. Por otro lado, variaciones

porcentuales de los pronósticos a 72 horas tienden a ser elevadas, estando en el rango de 60 %.

Es importante mencionar que a la fecha no existen registros de aforo en la estación hidrológica Puente Magdalena (Tabla 4.20). Es así que la validación de los pronósticos se realizó en la estación hidrológica Obrajillo (Tabla 4.19). Por otro lado, se observa que los pronósticos para las dos estaciones de aforo guardan una relación geométrica.

En la figura 4.24 se muestra la comparación del resultado de los ensayos de los pronósticos realizado así como en las tablas 4.19 y 4.19. De esta manera se tiene la respuesta visual de los modelos en la etapa de pronóstico. En las figuras se tiene la comparación de los pronósticos a 3 días de los modelos con enfoque semidistribuido, ya que se conoce este enfoque representación adecuadamente los caudales observados. Así, se tiene en la figura 4.24a-b-c los pronósticos para días consecutivos del mes de marzo del presente año para estación Obrajillo, de la misma forma se tiene en la figura 4.24c-d-e para la estación Puente Magdalena. Además, se incluyó las salidas de los modelos a partir de precipitación observada, con la finalidad de comparar, no solo con el hidrograma de caudales observados.

Para el día 19 de marzo se tiene un comportamiento estable de los pronósticos a 24 y 48 y 72 horas, sin embargo, el modelo SOCONT tiende a sobreestimar para el pronóstico a 72 horas (Figura 4.24a-d). Se rescata también, que los pronósticos se asemejan al hidrograma de caudales de los modelos evaluados con precipitación observada.

Para el día 20 de marzo se tiene una tendencia a sobrestimar a medida que los pronósticos tienden a alejar se en el tiempo (48 y 72 horas), siendo el modelo SOCONT el de mayor sobrestimación. Para el día 21 de marzo se mantiene la tendencia a sobrestimar para las previsiones de pronóstico de 48 y 72 horas. Sin embargo, la tendencia es mucho menor.

Conclusiones y recomendaciones

“Las ciencias no tratan de explicar, incluso apenas tratan de interpretar, construyen modelos principalmente. Por modelo, se entiende una construcción matemática que, con la adición de ciertas interpretaciones verbales, describe los fenómenos observados. La justificación de tal construcción matemática es sólo y precisamente que se espera que funcione.”

—John Von Neumann

5.1. Conclusiones

- Se concluye que el enfoque de modelización semidistribuido presenta una mayor eficiencia respecto al enfoque agrupado. Consecuentemente, se observan una mejor respuesta de los modelos semidistribuidos en la etapa de calibración y validación, así como una mejor capacidad para generar escurrimiento en subunidades de la cuenca en estudio.
- La estabilidad de los modelos semidistribuidos, evaluados en el periodo de entrenamiento, se reflejan en un buen desempeño en la etapa de pronóstico. Sin embargo, el gasto computacional empleado para las calibraciones en los modelos de corte semidistribuido, permiten cuestionar la decisión del nivel de desagregación asumida en la cuenca de estudio.
- Los resultados de las simulaciones permiten concluir que los modelos con mayor número de parámetros (HBV y SAC), describen con mayor precisión a las series observadas representando mejor las épocas de estiaje y avenida, en relación a los otros modelos, independientemente del enfoque de modelización. Sin embargo, las simulaciones para los modelos GR4J y SOCONT, no presentan variaciones significativas respecto de las eficiencias del par de modelos mencionados anteriormente.
- El modelo con mayor eficiencia fue el modelo HBV, el cual simula con eficiencias superiores a 0.8 del coeficiente de Nash las descargas de avenida, mientras que el modelo SOCONT es el modelo con la menor eficiencia. Al respecto, esto puede

explicarse por la coceptualización del modelo, el cual prioriza los procesos de derretimiento de nieve, siendo poco relevante para cuenca de estudio.

- Cabe resaltar que la respuesta del modelo GR4J (con enfoque semidistribuido), con tan solo 4 parámetros, es casi comparables a los producidos por modelos complejos HBV y SAC. Por otro lado, las pruebas de pronóstico a tres días, muestran la estabilidad de los modelos conceptuales más complejos (HBV y SAC), lo cual se corrobora por sus indicadores estadísticos de eficiencia. Gracias a su maniobrabilidad en los procesos de calibración (número bajo de parámetros), se concluye que el modelo GR4J es una buena alternativa para modelar la cuenca del río Chillón y se recomienda su uso.
- Es preciso mencionar que los parámetros obtenidos por los modelos no necesariamente han sido establecidos en el rango habitual sugerido. Esto puede deberse a la variabilidad climática que presenta el Perú frente a la de otras zonas en donde se ha adecuado previamente.
- La parámetros obtenidos luego de los procesos de calibración para una simulación eficiente de las descargas en la cuenca del río Chillón, deben de tomarse no como una solución única, sino como una respuesta consecuente con la metodología seguida en la presente tesis. Recordar que la metodolgia se basó en los criterios de priorización para la calibración de los parámetros, la definición de zonas en el área de estudio y la asignación de los valores iniciales de los modelos.
- El protocolo operacional de pronóstico de caudales diarios gravitará en la emisión de alertas a 24, 48 y 72 horas a futuro del caudal del río Chillón. Además, la determinación de umbrales de alerta propuestos permitirá determinar el grado de amenaza de la alerta emitida, calificándola como: bajo, moderado y alto.

5.2. Recomendaciones

- A la luz de los resultados, se recomienda la implementación de los modelos HBV, SAC y GR4J con enfoque semidistribuido para el monitoreo de la esorrentía en la cuenca del Chillón y de otras cuencas con una variabilidad climática similar. Además, se sugiere la implementación del protocolo operacional de pronóstico de caudales propuesto, para la formación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en la cuenca del río Chillón.
- Se recomienda, la evaluación continua de los modelos en la etapa de pronóstico lo cual dará luces para el establecimiento de nuevos procesos de calibración y consideraciones en la adecuación de los modelos propuestos.

- se recomienda mejorar la instrumentación de la cuenca del río Chillón a nivel de subcuencas, esto permitirá un mejor control en los procesos de calibración y validación futura disminuyendo la incertidumbre de los modelos.
- Como trabajo futuro, se recomienda automatizar los procesos requeridos para la generación de pronósticos de caudales, “como como ya se utiliza en el Canton de Valais en Suiza”, ([García et al., 2014](#)). Además, se sugiere potencialmente la generación y evaluación de la oferta hídrica de la cuenca del río Chillón al 2100 a partir de series futuras de precipitación, previamente corregida, e.g. [Astorayme and Gutiérrez \(2017\)](#). Estas series son provistas a partir de Modelos de Circulación Global del Panel Intergubernamental para el Cambio climático([IPCC, 2014](#)).
- Finalmente, el autor desea agregar: si bien es cierto, la capacidad computacional cada vez permite mejorar los procesos de cálculo y las consideraciones para una modelación con mayor exactitud y realidad; un modelo nunca estará exento de errores y por lo tanto, no debe ser tomado como un remplazo directo de la realidad. Se emplaza a tomar conciencia en la necesidad por la medición de las variables hidrológicas en campo y la instalación de nuevas estaciones hidrológicas, y aún más frente a un contexto de cambio climático.

Bibliografía

- Aghakouchak, A. and Habib, E. (2010). Application of a Conceptual Hydrologic Model in Teaching Hydrologic Processes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9):3315—3325.
- Ajami, N. K., Gupta, H., Wagener, T., and Sorooshian, S. (2004). Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system. *Journal of Hydrology*, 298(1–4):112–135.
- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In Petrov, B. N. and Csaki, F., editors, *Second International Symposium on Information Theory*, pages 267–281, Budapest. Akadémiai Kiado.
- Astorayme, M. A., García, J., Suarez, W., Felipe, O., Huggel, C., and Molina, W. (2015). Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río Chillón, Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica -RPGA*, 4:109–124.
- Astorayme, M. A., García, J., Suarez, W., Felipe, O., Huggel, C., Molina, W., and Sarango, D. (2016a). Análisis comparativo de los modelos hidrológicos GR4J-SOCONT-HBV-SAC en la cuenca del río chillón, Perú. In *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima.
- Astorayme, M. A., Gutiérrez, R., García, J., Felipe, O., and Suarez, W. (2016b). Downscaling temporal de un modelo hidrológico a paso diario adecuado en la cuenca del Rímac, Perú. In *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.
- Astorayme, M. A. and Gutiérrez, R. R. (2017). Statistical Downscaling Based Correction of the HadGEM2 Family General Circulation Models: Rimac Basin, Peru. In *World Environmental and Water Resources Congress 2017*, pages 545–556, Reston, VA. American Society of Civil Engineers.
- Avalos, G. (2009). Evaluación del Modelo Eta/SENAMHI en la previsión de la precipitación durante los periodos lluviosos 2002 y 2003. *Revista Peruana Geo-Atmosférica-RPGA*, 1:108–124.
- Bergström, S. (1992). The HBV Model: Its Structure and Applications. Technical report, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.

- Burnash, R. J. C., Ferral, R. L., McGuire, R. A., McGuire, R. A., and Center, U. S. J. F.-S. R. F. (1973). *A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modeling for Digital Computers*. U.S. Department of Commerce, National Weather Service, and State of California, Department of Water Resources.
- Cheng, W. Y. Y. and Steenburgh, W. J. (2005). Evaluation of Surface Sensible Weather Forecasts by the WRF and the Eta Models over the Western United States. *Weather and Forecasting*, 20(5):812–821.
- Chow, V. T. (1964). *Statistical and probability analysis of hydrologic data, part 1: frequency analysis*. In *Handbook of applied hydrology; a compendium of water resources Technology*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. MC Graw Hill, London, United States, internatio edition.
- Clarke, R. T. (1973). *Mathematical models in hydrology*. Rome : Food & Agriculture. Organization of the United Nations, Wallingford.
- Consuegra, D. and Vez, E. (1996). AMIE – Analyse et Modélisation Intégrées du cheminement des Eaux en zones habitées, modélisation hydrologique, Application au bassin versant de lá Haute Broye, IATE/HYDRAM. Technical report, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Desinventar (2013). Sistema de inventario de efectos de desastres.
- Dooge, J. C. I. (1973). Linear Theory of Hydrologic Systems. Technical Bulletins 160041, United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Duan, Q. Y., Gupta, V. K., and Sorooshian, S. (1993). Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 76(3):501–521.
- Edijatno and Michel, C. (1989). Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche*, 2:113–122.
- Edijatno, N. d. O. N., Yang, X., Makhlouf, Z., and Michel, C. (1999). GR3J: a daily watershed model with three free parameters. *Hydrological Sciences Journal*, 44(2):263–277.
- Feyen, L., Vázquez, R., Christiaens, K., Sels, O., and Feyen, J. (2000). Application of a distributed physically-based hydrological model to a medium size catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(1):47–63.
- Foehn, A., García Hernández, J., Roquier, B., and Paredes Arquiola, J. (2016). RS MINERVE – User’s manual v24. Technical report, RS MINERVE Group, Switzerland.

- Freeze, R. A. (1971). Three-Dimensional, Transient, Saturated-Unsaturated Flow in a Groundwater Basin. *Water Resources Research*, 7(2):347–366.
- García, J. (2011). *Flood management in a complex river basin with a real-time decision support system based on hydrological forecasts*. PhD thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Switzerland.
- García, J., Claude, A., Paredes, J., Roquier, B., and Boillat, J. L. (2014). Integrated flood forecasting and management system in a complex catchment area in the Alps –Implementation of the MINERVE project in the canton of Valais. Technical report, Taylor & Francis Group, London.
- García, J., Paredes, J., Foehn, A., and Roquier, B. (2016). RS MINERVE – Technical manual. Technical report, RS MINERVE Group.
- Gilks, W. R., Richardson, S., and Spiegelhalter, D. (1995). *Markov Chain Monte Carlo in Practice*. Chapman & Hall/CRC Interdisciplinary Statistics. Taylor & Francis, London.
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, 11(1):1–21.
- Harter, H., Khamis, H. J., and Lamb, R. E. (1984). Modified kolmogorov-smirnov tests of goodness of fit. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 13(3):293–323.
- Heidinger, H., Yarlequé, C., Posadas, A., and Quiroz, R. (2012). TRMM rainfall correction over the Andean Plateau using wavelet multi-resolution analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 33(14):4583–4602.
- INDECI (2001). Informe de los principales desastres ocurridos en el Perú. *Atlas de peligros del Perú*.
- INEI (2007). Censos Nacionales, XI de Población y VI de Vivienda Perfil Sociodemográfico del Perú Lima. Technical report, Presidencia del Consejo de Ministros-PCM, Lima.
- INGEMMET (2009). zonas críticas por peligros Geológicos en lima metropolitana, Primer reporte: Informe técnico Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Technical report, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Lausanne.
- INGEMMET (2015). Revista Institucional. *Ministerio de Energía y Minas del Perú*, 27:47.
- INRENA (2003). Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la cuenca del río Chillón. Technical report, Ministerio de Agricultura, Octubre 2003, Lima.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis.
- Jordan, F. (2007). *Modèle de prévision et de gestion des crues: optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue*. PhD thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL.

- Kisiel, C. C. (1969). Time series analysis of hydrologic data. *Advances in hydroscience*, 5:1–119.
- Krause, P., Boyle, D. P., and Båse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5:89–97.
- La República (2009). Evacuan a pobladores de ex Fundo Márquez de los márgenes del río Chillón.
- Lavado, W. (2010). *Modélisation du bilan hydrique à pas de temps mensuel pour l'évaluation de l'impact du changement climatique dans le bassin Amazonien du Pérou*. PhD thesis, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Toulouse France.
- Lindström, G. and Harlin, J. (1992). Spillway design floods in Sweden. II: Application and sensitivity analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 37(5):521–539.
- Liu, J. S. (2004). *Monte Carlo Strategies in Scientific Computing*. Springer Series in Statistics. Springer New York, New York, NY.
- Metzger, L., Carpenter, T. M., and Georgakakos, K. P. (2001). Reliability Analysis of Discharge and Volume Forecasts for the Rio Rimac Basin in Peru. Technical report, Hydrologic Research Center, HRC Technical Note Num.16, San Diego, California.
- MINAN (2010). El Perú y el Cambio Climático. Technical report, Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Lima.
- Molnar, P. (2011). Calibration. Technical report, Watershed Modelling, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich, Switzerland.
- Nash, J. and Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3):282–290.
- OMM (2011). International Glossary of Hydrology.
- Perrin, C., Michel, C., and Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279(1-4):275–289.
- Quiroz, R., Yarlequé, C., Posadas, A., Mares, V., and Immerzeel, W. W. (2011). Improving daily rainfall estimation from NDVI using a wavelet transform. *Environmental Modelling & Software*, 26(2):201–209.
- Seibert, J. (1997). Estimation of Parameter Uncertainty in the HBV Model. *Hydrology Research and International Journal*, 28(4-5):247–262.
- SENAMHI (2009). Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030.

- SENAMHI (2014). Informe Técnico N°4 del Estudio de Vulnerabilidad climática de los recursos hídricos.
- Singh, V. P. (1988). *Hydrologic Systems: Rainfall-runoff modeling*. Hydrologic Systems. Prentice Hall.
- Stefansky, W. (1972). Rejecting Outliers in Factorial Designs. *Technometrics*, 14(2):469.
- Travaglini, E., Alesina, S., Fluixá-Sanmartín, J., Foehn, A., and García Hernández, J. (2016). TeREsA – User’s Manual. Technical report, CREALP Group, Switzerland.
- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*, 12:13–49.
- Viviroli, D., Mittelbach, H., Gurtz, J., and Weingartner, R. (2009). Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part II: Parameter regionalisation and flood estimation results. *Journal of Hydrology*, 377(1-2):208–225.
- Xu, C.-y. (2002). *Hydrologic models*. Department of Earth Sciences, Uppsala University., Sweden, new editio edition.

Apendice A

Tablas de datos hidroclimáticos empleados y generados

Se presenta los datos meteorológicos e hidrológicos empleados en la presente tesis ([Tabla A1](#)), aunque solo se muestra un año de información a escala diaria por ser cuantiosa, de requerirse la información completa, se recomienda comunicarse con el autor¹. Asimismo, se presenta las descargas generadas, a escala diaria, por modelo propuesto y enfoque de modelización representativas de las series observadas de las estaciones hidrológicas ([Tabla A2](#)). Finalmente, se presenta las descargas generadas a nivel mensual por subcuenca ([Tablas A3 a A6](#)).

,

Tabla A1 – Continúa de la página anterior

| Precipitación [mm] | | | | | | | | | | | | | | | Temperatura [°C] | | | | | Caudal [m3/s] | | |
|---------------------------------|------|---------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|---------------------|------|--------|-------|-------|------------------|--------|--------|
| Fecha | Aut. | Caramp. | Matu. | Pallac | Arah. | Canta | Obraj. | Huamant. | Pirca | Huaro | Lacha. | Pariac. | Milloc | Yantac | Marca | Naña | Matuc. | Canta | Marca | Picoy | Obraj. | Magda. |
| 19/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.5 | 2.4 | 2.6 | 0.8 | 4.2 | 7.2 | 6.1 | 5.0 | 19.1 | 15.2 | 12.6 | 5.5 | 11.2 | 1.07 | 0.51 |
| 20/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 12.9 | 2.9 | 5.6 | 18.2 | 13.8 | 13.2 | 2.6 | 13.9 | 1.49 | 0.56 |
| 21/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 2.3 | 0.0 | 2.4 | 5.1 | 2.8 | 9.4 | 17.4 | 15.3 | 12.1 | 4.7 | 11.4 | 1.64 | 0.73 |
| 22/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 2.4 | 4.0 | 5.8 | 18.2 | 15.9 | 13.4 | 5.7 | 12.8 | 1.66 | 0.83 |
| 23/10/04 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 3.5 | 5.4 | 9.7 | 16.3 | 19.0 | 14.7 | 12.6 | 4.8 | 11.9 | 1.94 | 0.88 |
| 24/10/04 | 0.7 | 5.5 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 7.6 | 9.4 | 4.3 | 4.8 | 11.9 | 8.3 | 12.0 | 5.4 | 16.5 | 5.7 | 19.7 | 14.6 | 11.3 | 1.7 | 12.3 | 2.93 | 0.95 |
| 25/10/04 | 1.1 | 8.8 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 5.1 | 4.5 | 1.5 | 5.4 | 4.9 | 3.5 | 11.9 | 15.6 | 7.9 | 12.6 | 19.5 | 14.2 | 12.5 | 3.2 | 11.7 | 6.60 | 1.39 |
| 26/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 19.5 | 16.2 | 13.6 | 3.7 | 10.8 | 5.46 | 2.89 |
| 27/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 6.6 | 4.0 | 12.0 | 18.7 | 15.9 | 12.8 | 4.7 | 12.5 | 3.61 | 3.45 |
| 28/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 1.1 | 0.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 1.8 | 1.1 | 6.0 | 19.8 | 16.4 | 13.3 | 3.3 | 10.8 | 2.99 | 2.76 |
| 29/10/04 | 0.0 | 0.7 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 1.2 | 0.0 | 3.5 | 1.0 | 0.0 | 6.5 | 3.7 | 6.8 | 4.8 | 18.1 | 13.8 | 11.5 | 4.9 | 11.6 | 2.89 | 2.32 |
| 30/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 4.1 | 0.7 | 0.0 | 18.7 | 15.4 | 12.4 | 6.1 | 11.9 | 10.94 | 3.13 |
| 31/10/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 0.0 | 19.9 | 16.4 | 14.9 | 5.1 | 11.9 | 4.87 | 3.60 |
| 01/11/04 | 3.1 | 0.3 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 0.0 | 1.3 | 7.9 | 10.3 | 7.2 | 10.3 | 5.9 | 10.1 | 9.2 | 19.7 | 15.5 | 14.4 | 4.1 | 13.3 | 5.04 | 2.93 |
| 02/11/04 | 2.0 | 2.2 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 2.8 | 1.8 | 0.6 | 0.9 | 10.6 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 14.7 | 14.1 | 4.4 | 12.4 | 5.79 | 3.21 |
| 03/11/04 | 0.7 | 2.2 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 1.5 | 0.0 | 5.6 | 2.9 | 6.2 | 7.4 | 16.5 | 7.3 | 12.4 | 18.1 | 14.2 | 12.1 | 5.2 | 13.0 | 6.12 | 3.58 |
| 04/11/04 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 2.1 | 0.0 | 3.8 | 2.1 | 6.1 | 4.7 | 0.6 | 7.5 | 4.0 | 19.5 | 15.0 | 13.7 | 4.8 | 11.9 | 7.86 | 3.98 |
| 05/11/04 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.8 | 0.0 | 4.9 | 2.2 | 8.3 | 5.4 | 5.0 | 1.6 | 8.2 | 19.7 | 14.2 | 12.7 | 5.3 | 12.3 | 8.03 | 4.30 |
| 06/11/04 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 0.0 | 0.7 | 14.4 | 9.3 | 0.0 | 9.5 | 7.5 | 10.6 | 7.4 | 8.3 | 13.4 | 6.4 | 18.0 | 14.2 | 12.3 | 4.1 | 11.8 | 9.39 | 4.99 |
| 07/11/04 | 0.0 | 11.3 | 4.3 | 0.0 | 0.4 | 5.8 | 6.2 | 2.9 | 11.8 | 12.3 | 7.3 | 15.1 | 18.0 | 7.5 | 12.4 | 18.1 | 14.1 | 14.0 | 4.1 | 12.3 | 8.69 | 5.32 |
| 08/11/04 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.9 | 0.0 | 12.3 | 5.8 | 0.0 | 8.3 | 8.6 | 2.7 | 10.6 | 19.3 | 14.6 | 13.3 | 4.8 | 11.7 | 11.90 | 5.30 |
| 09/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.6 | 2.7 | 0.0 | 2.4 | 2.7 | 6.9 | 1.5 | 3.0 | 0.0 | 14.3 | 19.7 | 14.8 | 14.1 | 3.9 | 12.4 | 12.90 | 6.32 |
| 10/11/04 | 0.0 | 6.6 | 3.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.8 | 18.1 | 14.2 | 13.4 | 5.5 | 13.2 | 6.85 | 5.80 |
| 11/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.0 | 3.3 | 3.5 | 9.8 | 1.4 | 3.6 | 3.2 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 19.5 | 14.2 | 12.6 | 5.9 | 11.2 | 5.36 | 4.43 |
| 12/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.0 | 0.0 | 1.5 | 19.9 | 14.2 | 11.9 | 5.5 | 12.7 | 5.01 | 3.86 |
| 13/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.2 | 15.3 | 12.0 | 5.3 | 12.7 | 3.91 | 3.35 |
| 14/11/04 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.7 | 16.2 | 12.8 | 6.1 | 13.0 | 3.24 | 2.86 |
| 15/11/04 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.9 | 15.6 | 13.3 | 6.4 | 11.9 | 2.87 | 2.32 |
| 16/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.3 | 15.7 | 14.0 | 7.3 | 10.5 | 2.44 | 1.89 |
| 17/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 16.0 | 14.0 | 5.6 | 11.3 | 1.86 | 1.66 |
| 18/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.1 | 16.1 | 13.2 | 6.0 | 11.6 | 1.75 | 1.28 |
| 19/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 10.7 | 19.5 | 16.2 | 13.5 | 5.4 | 11.8 | 1.70 | 1.13 |
| 20/11/04 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.3 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 8.5 | 13.0 | 18.5 | 16.9 | 14.9 | 5.5 | 11.7 | 1.78 | 1.09 |
| 21/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 5.2 | 6.4 | 15.5 | 10.2 | 19.1 | 17.4 | 14.3 | 4.5 | 13.4 | 2.62 | 1.09 |
| 22/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.7 | 0.0 | 0.0 | 18.6 | 17.2 | 14.9 | 4.5 | 14.5 | 2.80 | 1.15 |
| 23/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 17.6 | 14.9 | 4.1 | 13.5 | 3.83 | 1.24 |
| 24/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.6 | 15.5 | 13.9 | 5.6 | 13.5 | 3.37 | 1.52 |
| 25/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.3 | 16.3 | 14.1 | 5.8 | 12.6 | 3.13 | 1.57 |
| 26/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.7 | 16.3 | 12.4 | 5.7 | 12.5 | 3.07 | 1.57 |
| 27/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.3 | 15.8 | 12.9 | 5.9 | 12.7 | 3.21 | 1.53 |
| 28/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 20.3 | 15.9 | 13.5 | 4.4 | 12.3 | 3.11 | 1.71 |
| 29/11/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.1 | 15.8 | 13.9 | 6.9 | 12.3 | 2.35 | 1.73 |
| 30/11/04 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 20.0 | 17.2 | 14.1 | 6.2 | 12.9 | 2.17 | 1.63 |
| 01/12/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 8.0 | 3.8 | 2.5 | 8.6 | 20.4 | 16.7 | 14.6 | 6.4 | 12.3 | 2.10 | 1.61 |
| 02/12/04 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 1.8 | 6.2 | 8.1 | 2.1 | 1.2 | 0.0 | 19.6 | 17.0 | 14.5 | 4.9 | 13.6 | 2.48 | 1.54 |
| 03/12/04 | 0.0 | 2.0 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 2.3 | 1.4 | 2.2 | 1.2 | 4.1 | 0.0 | 0.0 | 19.0 | 17.0 | 14.2 | 5.4 | 13.9 | 2.60 | 1.60 |
| 04/12/04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.7 | 16.0 | 13.8 | 5.7 | 13.4 | 2.83 | 1.53 |
| 05/12/04 | 2.1 | 12.8 | 0.0 | 4.0 | 0.3 | 4.2 | 0.7 | 4.4 | 2.4 | 0.8 | 6.4 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 20.0 | 17.3 | 14.1 | 4.3 | 12.5 | 2.61 | 1.59 |
| 06/12/04 | 3.6 | 2.2 | 4.9 | 0.0 | 3.0 | 4.5 | 3.7 | 3.0 | 8.2 | 3.4 | 3.2 | 6.4 | 1.2 | 0.0 | 2.8 | 20.3 | 16.6 | 13.4 | 5.0 | 14.3 | 3.18 | 1.48 |
| 07/12/04 | 2.2 | 5.5 | 3.3 | 3.9 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 8.7 | 1.1 | 4.0 | 1.0 | 9.7 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | 16.3 | 13.8 | 7.9 | 12.8 | 3.89 | 1.55 |
| 08/12/04 | 0.0 | 0.5 | 3.1 | 0.5 | 0.0 | 3.8 | 3.2 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 0.2 | 0.0 | 3.0 | 5.6 | 0.0 | 18.5 | 15.1 | 12.2 | 6.5 | 13.4 | 3.50 | 1.80 |
| 09/12/04 | 10.5 | 10.8 | 12.4 | 9.4 | 12.5 | 15.5 | 15.5 | 14.2 | 8.4 | 12.3 | 12.3 | 13.7 | 2.6 | 6.0 | 5.4 | 19.9 | 14.3 | 10.4 | 5.2 | 11.7 | 3.51 | 1.96 |
| 10/12/04 | 3.6 | 10.0 | 9.9 | 0.0 | 0.5 | 3.0 | 1.0 | 9.3 | 5.9 | 9.5 | 2.3 | 3.8 | 14.1 | 4.5 | 11.5 | 20.6 | 14.6 | 11.8 | 3.4 | 11.5 | 8.44 | 3.68 |
| 11/12/04 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 1.2 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 3.9 | 9.2 | 19.9 | 16.4 | 11.7 | 4.1 | 11.9 | 7.94 | 6.69 |
| continúa en la siguiente página | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

continúa en la siguiente página

Tabla A1 – Continua de la página anterior

| Precipitación [mm] | | | | | | | | | | | | | | Temperatura [°C] | | | | Caudal [m3/s] | | | | |
|-----------------------|------|---------|-------|--------|-------|-------|---------|----------|-------|-------|--------|---------|--------|---------------------|-------|------|--------|------------------|-------|-------|---------|--------|
| Fecha | Aut. | Caramp. | Matu. | Pallac | Arah. | Canta | Obralj. | Huamant. | Pirca | Huaro | Lacha. | Pariac. | Milloc | Yantac | Marca | Ñaña | Matuc. | Canta | Marca | Picoy | Obralj. | Magda. |
| 04/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 4.4 | 22.7 | 15.5 | 12.5 | 3.9 | 11.8 | 5.45 | 3.70 |
| 05/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 23.7 | 16.4 | 13.9 | 5.1 | 14.7 | 4.58 | 3.19 |
| 06/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 3.6 | 6.6 | 23.5 | 16.2 | 14.7 | 5.3 | 15.5 | 3.88 | 2.85 |
| 07/02/05 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 2.2 | 4.2 | 16.6 | 22.4 | 16.5 | 14.1 | 5.2 | 14.4 | 3.74 | 2.48 |
| 08/02/05 | 5.6 | 8.3 | 4.3 | 0.0 | 6.1 | 6.5 | 6.5 | 10.8 | 12.3 | 5.5 | 8.4 | 5.3 | 6.6 | 6.5 | 5.8 | 22.6 | 17.0 | 12.8 | 4.0 | 13.9 | 4.46 | 2.55 |
| 09/02/05 | 0.7 | 2.5 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 0.6 | 0.0 | 5.8 | 3.9 | 4.4 | 5.3 | 1.9 | 5.9 | 12.4 | 22.5 | 16.4 | 14.9 | 6.0 | 13.4 | 6.77 | 4.36 |
| 10/02/05 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.8 | 1.5 | 1.6 | 0.1 | 1.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 5.5 | 3.8 | 22.3 | 15.1 | 14.4 | 5.7 | 12.7 | 8.72 | 6.73 |
| 11/02/05 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 1.0 | 0.5 | 5.1 | 2.3 | 2.1 | 5.1 | 1.0 | 1.4 | 1.9 | 3.2 | 21.9 | 14.0 | 11.1 | 5.5 | 13.6 | 6.50 | 6.10 |
| 12/02/05 | 6.7 | 0.8 | 0.8 | 0.0 | 9.5 | 3.8 | 3.6 | 8.7 | 4.3 | 1.7 | 2.3 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 2.7 | 22.4 | 13.2 | 10.8 | 5.1 | 12.6 | 6.07 | 5.17 |
| 13/02/05 | 11.7 | 4.0 | 2.8 | 0.0 | 2.4 | 12.9 | 1.4 | 5.5 | 5.9 | 10.9 | 6.0 | 3.5 | 1.9 | 1.0 | 0.0 | 22.5 | 13.6 | 10.7 | 5.5 | 13.3 | 7.02 | 4.96 |
| 14/02/05 | 2.1 | 9.0 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 7.6 | 0.0 | 5.4 | 2.1 | 4.3 | 10.2 | 23.3 | 15.6 | 13.7 | 5.9 | 12.5 | 8.83 | 6.64 |
| 15/02/05 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.6 | 15.9 | 13.6 | 6.4 | 13.5 | 8.58 | 7.61 |
| 16/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 1.3 | 0.8 | 22.5 | 14.2 | 11.9 | 6.5 | 11.9 | 6.22 | 5.64 |
| 17/02/05 | 0.0 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 2.0 | 2.7 | 0.2 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 3.4 | 4.1 | 6.1 | 17.6 | 22.1 | 15.6 | 12.3 | 5.6 | 11.0 | 5.83 | 4.46 |
| 18/02/05 | 2.2 | 0.9 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 1.4 | 0.0 | 1.2 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 4.9 | 3.3 | 22.7 | 17.1 | 15.3 | 3.7 | 12.6 | 6.95 | 4.50 |
| 19/02/05 | 6.1 | 5.2 | 5.7 | 3.0 | 9.3 | 8.8 | 8.1 | 20.3 | 11.3 | 8.4 | 15.6 | 5.5 | 3.0 | 2.3 | 5.2 | 23.5 | 14.7 | 12.0 | 3.9 | 14.5 | 6.21 | 4.50 |
| 20/02/05 | 0.4 | 4.3 | 4.6 | 9.5 | 0.0 | 2.3 | 3.9 | 0.0 | 5.2 | 3.1 | 2.3 | 13.6 | 7.0 | 9.4 | 15.2 | 23.4 | 14.8 | 12.8 | 4.7 | 12.5 | 7.64 | 5.70 |
| 21/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.5 | 0.0 | 1.3 | 1.4 | 0.0 | 3.9 | 3.9 | 4.7 | 10.0 | 23.3 | 15.2 | 13.7 | 4.8 | 12.1 | 11.52 | 7.65 |
| 22/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 23.4 | 16.2 | 14.1 | 5.1 | 13.1 | 10.85 | 8.12 |
| 23/02/05 | 0.0 | 0.1 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 4.5 | 0.0 | 1.5 | 2.7 | 0.3 | 1.3 | 2.4 | 6.8 | 1.9 | 22.3 | 18.0 | 15.1 | 5.7 | 14.3 | 8.32 | 7.06 |
| 24/02/05 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 2.7 | 2.2 | 2.1 | 1.2 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 3.6 | 4.2 | 22.5 | 15.8 | 13.4 | 7.0 | 12.9 | 7.90 | 7.22 |
| 25/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.7 | 0.0 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 22.2 | 17.2 | 13.1 | 6.4 | 13.1 | 7.09 | 6.53 |
| 26/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.3 | 22.5 | 17.2 | 12.9 | 7.6 | 14.7 | 6.34 | 5.53 |
| 27/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 1.7 | 1.0 | 21.8 | 17.2 | 14.7 | 8.3 | 14.5 | 5.81 | 4.78 |
| 28/02/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 1.0 | 1.7 | 6.7 | 2.7 | 0.0 | 2.9 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | 21.8 | 15.2 | 13.5 | 6.6 | 14.0 | 6.15 | 4.50 |
| 01/03/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 3.6 | 0.0 | 9.8 | 0.6 | 0.0 | 1.0 | 2.4 | 1.5 | 10.6 | 22.7 | 17.1 | 13.3 | 6.3 | 12.8 | 6.62 | 4.30 |
| 02/03/05 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 1.7 | 2.6 | 5.9 | 2.5 | 0.0 | 4.2 | 2.0 | 6.2 | 9.0 | 22.5 | 16.7 | 12.9 | 6.0 | 13.5 | 6.60 | 4.15 |
| 03/03/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 1.2 | 0.0 | 0.7 | 0.8 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 23.0 | 17.0 | 13.1 | 7.3 | 14.1 | 8.26 | 4.44 |
| 04/03/05 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 1.7 | 0.0 | 3.7 | 1.8 | 1.5 | 1.9 | 1.8 | 5.5 | 3.5 | 23.9 | 15.5 | 13.1 | 5.0 | 14.8 | 6.80 | 4.50 |
| 05/03/05 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.2 | 1.1 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 22.8 | 14.2 | 12.7 | 5.6 | 11.9 | 6.87 | 4.69 |
| 06/03/05 | 0.2 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 7.0 | 7.4 | 8.2 | 11.2 | 6.1 | 6.5 | 7.0 | 2.7 | 3.3 | 7.5 | 23.8 | 14.6 | 12.3 | 4.7 | 11.7 | 6.62 | 4.11 |
| 07/03/05 | 5.1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 5.0 | 3.6 | 9.1 | 1.3 | 3.5 | 5.1 | 1.5 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 23.2 | 15.0 | 12.3 | 5.3 | 12.9 | 9.11 | 6.13 |
| 08/03/05 | 3.8 | 0.5 | 1.2 | 1.5 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 0.0 | 1.3 | 0.6 | 2.3 | 22.9 | 13.0 | 10.9 | 6.1 | 12.4 | 7.53 | 5.98 |
| 09/03/05 | 0.9 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.9 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 1.0 | 0.0 | 22.8 | 15.2 | 12.6 | 5.6 | 11.8 | 6.68 | 5.22 |
| 10/03/05 | 2.8 | 1.8 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 1.5 | 2.0 | 1.1 | 3.8 | 1.6 | 7.4 | 2.6 | 0.7 | 0.5 | 8.2 | 21.7 | 16.0 | 12.7 | 7.4 | 11.6 | 6.17 | 4.67 |
| 11/03/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 1.5 | 1.2 | 0.0 | 2.8 | 0.8 | 3.1 | 4.5 | 7.8 | 21.9 | 14.8 | 12.3 | 5.9 | 12.8 | 6.82 | 5.08 |
| 12/03/05 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 2.4 | 1.9 | 1.2 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 1.2 | 1.1 | 2.7 | 1.7 | 22.4 | 16.5 | 13.3 | 6.2 | 11.6 | 6.39 | 4.93 |
| 13/03/05 | 4.1 | 10.8 | 11.7 | 4.7 | 9.5 | 10.4 | 14.2 | 23.0 | 8.2 | 0.0 | 11.9 | 11.2 | 6.4 | 6.4 | 4.3 | 21.3 | 15.6 | 12.0 | 4.2 | 12.0 | 7.61 | 5.17 |
| 14/03/05 | 0.5 | 1.3 | 2.9 | 0.0 | 0.2 | 6.8 | 4.9 | 0.0 | 1.9 | 2.6 | 0.0 | 3.0 | 6.5 | 5.3 | 4.7 | 21.5 | 14.2 | 12.3 | 5.4 | 11.9 | 9.54 | 8.23 |
| 15/03/05 | 0.0 | 0.4 | 1.2 | 2.5 | 0.0 | 2.1 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 1.8 | 1.9 | 1.1 | 1.5 | 21.7 | 16.2 | 13.4 | 5.9 | 12.1 | 11.06 | 8.32 |
| 16/03/05 | 1.0 | 3.0 | 3.8 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 1.0 | 0.5 | 1.8 | 1.5 | 3.4 | 0.5 | 3.1 | 1.7 | 1.0 | 22.6 | 14.7 | 12.7 | 5.4 | 12.9 | 8.66 | 7.43 |
| 17/03/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.4 | 22.3 | 15.7 | 13.1 | 5.9 | 12.8 | 8.11 | 6.97 |
| 18/03/05 | 0.3 | 2.1 | 7.9 | 0.0 | 0.0 | 3.8 | 4.3 | 7.2 | 3.4 | 11.4 | 6.9 | 8.0 | 2.3 | 2.5 | 2.4 | 22.1 | 16.0 | 12.9 | 3.9 | 12.4 | 8.79 | 6.43 |
| 19/03/05 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 1.2 | 2.8 | 5.0 | 21.9 | 16.4 | 14.4 | 5.2 | 13.8 | 10.44 | 8.45 |
| 20/03/05 | 2.2 | 10.7 | 7.7 | 7.0 | 8.6 | 6.7 | 8.3 | 4.0 | 12.4 | 9.4 | 15.2 | 9.2 | 6.7 | 10.0 | 3.9 | 21.7 | 17.1 | 13.0 | 5.6 | 13.7 | 10.74 | 8.14 |
| 21/03/05 | 11.1 | 10.3 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 3.4 | 2.5 | 6.2 | 0.0 | 2.3 | 5.8 | 5.4 | 6.1 | 8.3 | 6.6 | 21.7 | 14.8 | 12.5 | 5.4 | 13.4 | 15.38 | 11.16 |
| 22/03/05 | 2.1 | 9.5 | 4.8 | 0.0 | 2.8 | 3.4 | 4.6 | 0.7 | 9.5 | 6.1 | 6.9 | 5.1 | 2.6 | 9.1 | 9.6 | 21.7 | 14.4 | 12.2 | 5.3 | 12.2 | 19.46 | 13.73 |
| 23/03/05 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 1.2 | 2.1 | 2.6 | 5.3 | 3.2 | 1.5 | 21.7 | 16.1 | 14.5 | 5.6 | 11.1 | 18.58 | 14.23 |
| 24/03/05 | 5.5 | 8.6 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 5.0 | 3.5 | 1.7 | 7.8 | 1.6 | 3.5 | 4.3 | 8.0 | 22.2 | 17.0 | 14.5 | 4.2 | 12.5 | 14.89 | 12.58 |
| 25/03/05 | 4.4 | 4.0 | 6.3 | 3.9 | 10.3 | 3.3 | 3.2 | 9.7 | 3.1 | 1.9 | 9.2 | 0.0 | 4.8 | 2.1 | 1.6 | 22.4 | 15.4 | 12.4 | 4.8 | 13.9 | 12.31 | 12.86 |
| 26/03/05 | 0.5 | 3.2 | 0.9 | 4.7 | 0.0 | 2.1 | 3.4 | 2.6 | 0.7 | 2.1 | 3.1 | 0.0 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | 21.3 | 13.8 | 10.9 | 6.3 | 13.2 | 10.35 | 11.55 |
| 27/03/05 | 4.3 | 2.4 | 6.2 | 0.0 | 0.6 | 1.4 | 0.0 | 2.1 | 3.2 | 5.4 | 7.2 | 18.1 | 3.0 | 0.9 | 0.0 | 21.5 | 14.6 | 11.7 | 5.3 | 11.1 | 9.96 | 9.77 |
| 28/03/05 | 0.4 | 6.9 | 0.5 | 2.9 | 0.0 | 5.1 | 7.2 | 1.1 | 11.6 | 12.5 | 5.3 | 5.8 | 8.5 | 10.7 | 11.9 | 21.9 | 15.6 | 12.8 | 4.3 | 11.3 | 13.81 | 11.50 |
| 29/03/05 | 0.2 | 1.9 | 1.2 | 1.0 | 0.0 | 6.0 | 6.9 | 0.4 | 2.7 | 5.8 | 0.3 | 10.9 | 3.8 | 7.5 | 3.5 | 21.4 | 14.6 | 12.5 | 4.7 | 11.9 | 20.61 | 18.42 |

continúa en la siguiente página

continúa en la siguiente página

Tabla A1 – Continua de la pagina anterior

| Precipitación [mm] | | | | | | | | | | | | | | Temperatura [°C] | | | | Caudal [m3/s] | | | | |
|-----------------------|------|---------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|---------|--------|---------------------|-------|------|--------|------------------|-------|-------|--------|--------|
| Fecha | Aut. | Caramp. | Matu. | Pallac | Arah. | Canta | Obraj. | Huamant. | Pirca | Huaro | Lacha. | Pariac. | Milloc | Yantac | Marca | Naña | Matuc. | Canta | Marca | Picoy | Obraj. | Magda. |
| 30/03/05 | 0.5 | 3.7 | 1.5 | 1.0 | 3.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 3.4 | 1.7 | 1.9 | 1.5 | 10.7 | 2.2 | 1.5 | 21.9 | 15.5 | 12.8 | 5.6 | 11.7 | 17.51 | 16.23 |
| 31/03/05 | 2.7 | 2.5 | 1.2 | 1.0 | 0.0 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 6.9 | 2.2 | 0.0 | 2.6 | 2.5 | 8.5 | 5.4 | 22.5 | 14.9 | 14.4 | 6.1 | 12.3 | 16.44 | 14.37 |
| 01/04/05 | 0.9 | 0.0 | 4.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 2.3 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 5.4 | 22.0 | 15.5 | 12.8 | 4.6 | 12.8 | 14.53 | 11.62 |
| 02/04/05 | 0.0 | 2.1 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 2.7 | 1.6 | 4.8 | 2.2 | 1.9 | 3.9 | 0.8 | 2.2 | 21.9 | 14.8 | 12.8 | 5.1 | 12.1 | 16.42 | 11.45 |
| 03/04/05 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.8 | 5.5 | 5.6 | 0.0 | 0.9 | 4.2 | 2.0 | 1.5 | 1.8 | 1.0 | 22.3 | 15.2 | 13.2 | 5.0 | 11.9 | 13.61 | 11.52 |
| 04/04/05 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 2.5 | 1.7 | 0.0 | 1.0 | 1.7 | 6.1 | 3.7 | 22.0 | 16.6 | 13.5 | 5.9 | 12.7 | 11.84 | 12.06 |
| 05/04/05 | 0.5 | 4.1 | 0.0 | 4.0 | 2.4 | 1.4 | 2.0 | 3.5 | 8.6 | 2.6 | 4.5 | 5.8 | 3.2 | 3.8 | 12.0 | 22.9 | 16.3 | 13.6 | 3.8 | 14.2 | 13.23 | 12.44 |
| 06/04/05 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 0.2 | 2.7 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.3 | 3.3 | 0.6 | 1.4 | 0.0 | 22.5 | 16.0 | 14.5 | 5.5 | 12.4 | 13.54 | 12.58 |
| 07/04/05 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 1.3 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 21.7 | 16.4 | 13.1 | 5.7 | 13.4 | 10.85 | 11.14 |
| 08/04/05 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.9 | 17.6 | 14.2 | 5.2 | 12.7 | 8.71 | 9.99 |
| 09/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 22.7 | 16.0 | 14.2 | 5.9 | 12.6 | 7.45 | 9.11 |
| 10/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 0.0 | 21.9 | 15.4 | 14.0 | 6.1 | 13.4 | 7.10 | 8.47 |
| 11/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.7 | 16.4 | 14.3 | 6.4 | 14.4 | 6.50 | 7.68 |
| 12/04/05 | 0.2 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 3.7 | 1.2 | 16.3 | 0.0 | 17.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 22.1 | 15.7 | 13.8 | 5.0 | 13.9 | 6.72 | 7.06 |
| 13/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 1.5 | 0.0 | 9.8 | 1.2 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 21.5 | 16.6 | 15.3 | 4.3 | 14.4 | 6.55 | 7.27 |
| 14/04/05 | 0.7 | 1.8 | 1.4 | 0.0 | 1.0 | 4.8 | 0.0 | 0.6 | 1.4 | 0.0 | 7.2 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 21.0 | 16.4 | 14.8 | 5.3 | 13.3 | 5.75 | 6.91 |
| 15/04/05 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 0.0 | 22.1 | 17.4 | 15.6 | 3.9 | 13.5 | 5.42 | 7.08 |
| 16/04/05 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 21.1 | 16.8 | 14.5 | 5.8 | 15.8 | 4.96 | 6.88 |
| 17/04/05 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 0.5 | 1.2 | 0.0 | 0.3 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 22.0 | 16.7 | 14.1 | 4.9 | 15.9 | 4.88 | 6.44 |
| 18/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 1.4 | 2.0 | 21.1 | 16.9 | 14.6 | 4.5 | 14.7 | 4.65 | 6.17 |
| 19/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 4.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.6 | 16.2 | 14.5 | 6.2 | 14.9 | 4.43 | 5.95 |
| 20/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.6 | 15.9 | 13.8 | 5.0 | 13.5 | 4.27 | 5.78 |
| 21/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 3.2 | 1.2 | 21.5 | 15.1 | 12.9 | 4.6 | 13.0 | 4.13 | 5.69 |
| 22/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 21.9 | 17.0 | 14.7 | 5.4 | 11.9 | 4.56 | 5.69 |
| 23/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.5 | 16.4 | 14.1 | 5.3 | 13.3 | 4.08 | 5.67 |
| 24/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.9 | 15.8 | 12.5 | 5.5 | 13.4 | 3.75 | 5.43 |
| 25/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.2 | 15.3 | 12.1 | 4.8 | 12.7 | 3.17 | 5.20 |
| 26/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 2.0 | 21.1 | 15.6 | 12.6 | 5.4 | 11.3 | 3.33 | 5.10 |
| 27/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.5 | 16.3 | 14.5 | 5.2 | 13.7 | 3.04 | 4.67 |
| 28/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.3 | 15.4 | 13.0 | 5.5 | 13.2 | 3.37 | 4.45 |
| 29/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 1.5 | 20.5 | 14.4 | 12.5 | 4.1 | 13.8 | 3.04 | 4.44 |
| 30/04/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 4.8 | 20.6 | 14.9 | 13.5 | 4.5 | 10.9 | 3.26 | 4.31 |
| 01/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.1 | 16.2 | 13.9 | 4.2 | 11.7 | 3.15 | 3.02 |
| 02/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 20.5 | 15.9 | 13.7 | 4.9 | 12.6 | 3.23 | 3.02 |
| 03/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 20.8 | 14.8 | 13.3 | 5.1 | 11.9 | 3.12 | 2.98 |
| 04/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 19.6 | 16.0 | 13.5 | 5.6 | 11.4 | 2.97 | 2.90 |
| 05/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.8 | 14.9 | 12.9 | 6.1 | 11.9 | 2.71 | 2.89 |
| 06/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.3 | 15.5 | 12.9 | 4.8 | 11.6 | 2.65 | 2.85 |
| 07/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.7 | 15.2 | 14.3 | 4.6 | 11.4 | 2.60 | 2.53 |
| 08/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.9 | 16.4 | 14.9 | 5.3 | 11.4 | 2.60 | 2.47 |
| 09/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.5 | 16.0 | 14.3 | 4.0 | 12.9 | 2.42 | 2.47 |
| 10/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.5 | 16.4 | 14.9 | 5.3 | 12.4 | 2.30 | 2.44 |
| 11/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 19.5 | 17.9 | 15.8 | 5.0 | 12.9 | 2.26 | 2.35 |
| 12/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 19.0 | 16.7 | 14.3 | 5.1 | 14.9 | 2.21 | 2.27 |
| 13/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.2 | 17.4 | 16.0 | 5.7 | 13.8 | 2.07 | 2.25 |
| 14/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.8 | 15.0 | 14.1 | 4.7 | 14.0 | 2.12 | 2.18 |
| 15/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 4.6 | 4.0 | 20.7 | 16.0 | 14.1 | 5.5 | 10.8 | 2.09 | 2.17 |
| 16/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.2 | 7.5 | 8.6 | 19.4 | 16.2 | 13.2 | 4.8 | 10.8 | 2.12 | 2.17 |
| 17/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 19.7 | 14.5 | 12.6 | 4.6 | 12.5 | 2.36 | 2.17 |
| 18/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | 15.3 | 13.3 | 5.1 | 12.3 | 2.10 | 2.17 |
| 19/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 15.4 | 13.7 | 4.7 | 11.1 | 1.93 | 2.15 |
| 20/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.0 | 14.7 | 12.8 | 5.1 | 12.3 | 2.06 | 2.07 |
| 21/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.3 | 14.6 | 12.8 | 5.7 | 11.7 | 2.10 | 2.07 |
| 22/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.5 | 14.8 | 13.0 | 5.4 | 12.7 | 2.04 | 2.07 |

continúa en la siguiente página

continúa en la siguiente página

Tabla A1 – Continúa de la página anterior

| Precipitación [mm] | | | | | | | | | | | | | Temperatura [°C] | | | | Caudal [m3/s] | | | | | |
|---------------------------------|------|---------|-------|--------|-------|-------|---------|----------|-------|-------|--------|---------|---------------------|--------|-------|------|------------------|-------|-------|-------|---------|--------|
| Fecha | Aut. | Caramp. | Matu. | Pallac | Arah. | Canta | Obralj. | Huamant. | Pirca | Huaro | Lacha. | Pariac. | Milloc | Yantac | Marca | Ñaña | Matuc. | Canta | Marca | Picoy | Obralj. | Magda. |
| 23/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 14.3 | 12.1 | 5.9 | 12.2 | 1.85 | 1.98 |
| 24/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 13.6 | 11.2 | 6.9 | 10.9 | 1.71 | 2.02 |
| 25/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 12.8 | 11.5 | 5.3 | 11.5 | 1.66 | 1.93 |
| 26/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | 14.7 | 13.3 | 5.1 | 10.3 | 1.58 | 1.80 |
| 27/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.7 | 16.0 | 14.5 | 5.3 | 12.6 | 1.54 | 1.73 |
| 28/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.2 | 15.4 | 13.9 | 4.5 | 14.0 | 1.52 | 1.64 |
| 29/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.1 | 14.9 | 14.7 | 3.9 | 13.5 | 1.49 | 1.71 |
| 30/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 15.2 | 14.6 | 3.9 | 14.2 | 1.44 | 1.67 |
| 31/05/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 14.7 | 13.6 | 4.0 | 14.3 | 1.51 | 1.73 |
| 01/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 14.8 | 13.2 | 3.7 | 13.0 | 1.52 | 1.92 |
| 02/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.4 | 14.5 | 12.9 | 4.0 | 12.2 | 1.63 | 2.02 |
| 03/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.5 | 15.4 | 13.8 | 5.1 | 11.5 | 1.61 | 1.99 |
| 04/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 | 15.9 | 13.1 | 3.9 | 12.1 | 1.85 | 2.20 |
| 05/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 16.0 | 14.2 | 4.5 | 12.6 | 1.66 | 2.06 |
| 06/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.1 | 14.2 | 12.9 | 3.4 | 12.5 | 1.62 | 2.00 |
| 07/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 14.4 | 12.4 | 3.6 | 12.5 | 1.66 | 2.05 |
| 08/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.5 | 16.4 | 13.5 | 3.1 | 12.0 | 1.52 | 1.92 |
| 09/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 | 15.7 | 13.6 | 4.2 | 13.3 | 1.49 | 1.89 |
| 10/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | 15.6 | 13.6 | 2.1 | 11.9 | 1.35 | 1.76 |
| 11/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.1 | 14.2 | 13.7 | 1.7 | 10.9 | 1.27 | 1.67 |
| 12/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 13.5 | 12.9 | 2.6 | 11.2 | 1.35 | 1.76 |
| 13/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.4 | 12.4 | 13.5 | 2.9 | 10.7 | 1.40 | 1.81 |
| 14/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 13.1 | 12.6 | 3.7 | 10.5 | 1.36 | 1.77 |
| 15/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 14.6 | 14.4 | 3.3 | 12.0 | 1.34 | 1.91 |
| 16/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.6 | 15.8 | 15.2 | 4.1 | 13.5 | 1.39 | 2.25 |
| 17/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 14.8 | 14.2 | 3.9 | 13.5 | 1.41 | 2.30 |
| 18/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.4 | 15.4 | 14.5 | 3.9 | 12.9 | 1.42 | 2.02 |
| 19/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.3 | 14.9 | 13.4 | 4.3 | 11.6 | 1.39 | 1.98 |
| 20/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 14.6 | 13.4 | 2.7 | 12.5 | 1.25 | 1.84 |
| 21/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 17.7 | 15.0 | 12.6 | 3.4 | 12.2 | 1.22 | 1.80 |
| 22/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 1.0 | 16.3 | 15.1 | 14.1 | 3.9 | 13.5 | 1.26 | 1.84 |
| 23/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.7 | 15.5 | 13.3 | 4.0 | 14.5 | 1.26 | 1.64 |
| 24/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.6 | 15.3 | 13.9 | 4.0 | 14.9 | 1.18 | 1.74 |
| 25/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.1 | 14.6 | 13.1 | 4.9 | 12.9 | 1.17 | 1.74 |
| 26/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.3 | 15.4 | 13.8 | 3.4 | 12.9 | 1.10 | 1.69 |
| 27/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 14.4 | 12.5 | 2.5 | 13.8 | 1.06 | 1.46 |
| 28/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.1 | 14.6 | 12.5 | 3.1 | 12.0 | 1.02 | 1.47 |
| 29/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.6 | 13.9 | 13.1 | 2.7 | 13.5 | 0.99 | 1.47 |
| 30/06/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 | 14.0 | 11.9 | 3.7 | 12.1 | 0.92 | 1.28 |
| 01/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 14.3 | 12.6 | 3.8 | 12.4 | 0.93 | 1.44 |
| 02/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.1 | 15.1 | 12.4 | 3.8 | 11.0 | 1.04 | 1.77 |
| 03/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 14.4 | 12.7 | 4.2 | 10.9 | 1.02 | 1.67 |
| 04/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | 14.0 | 12.1 | 3.8 | 11.4 | 0.98 | 1.55 |
| 05/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 17.5 | 14.6 | 13.3 | 3.5 | 11.0 | 1.02 | 1.50 |
| 06/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.2 | 16.4 | 15.2 | 13.5 | 4.1 | 11.5 | 1.01 | 1.43 |
| 07/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.7 | 15.9 | 13.5 | 2.8 | 15.5 | 0.98 | 1.35 |
| 08/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.3 | 15.6 | 13.9 | 2.5 | 14.4 | 1.00 | 1.47 |
| 09/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 14.8 | 13.3 | 2.8 | 11.9 | 1.06 | 1.63 |
| 10/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 15.2 | 13.4 | 3.1 | 11.7 | 1.13 | 1.58 |
| 11/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 15.0 | 13.3 | 0.7 | 13.8 | 1.05 | 1.45 |
| 12/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.3 | 13.6 | 12.3 | 0.7 | 13.3 | 1.05 | 1.45 |
| 13/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.4 | 12.7 | 10.7 | 2.8 | 10.4 | 1.04 | 1.60 |
| 14/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.1 | 12.6 | 10.7 | 4.1 | 10.2 | 1.01 | 1.37 |
| 15/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.2 | 14.0 | 12.6 | 3.1 | 10.0 | 1.00 | 1.47 |
| continúa en la siguiente página | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

continúa en la siguiente página

Tabla A1 – Continua de la pagina anterior

| Precipitación [mm] | | | | | | | | | | | | | Temperatura [°C] | | | | Caudal [m3/s] | | | | | |
|-----------------------|------|---------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|---------|---------------------|--------|-------|------|------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Fecha | Aut. | Caramp. | Matu. | Pallac | Arah. | Canta | Obraj. | Huamant. | Pirca | Huaro | Lacha. | Pariac. | Milloc | Yantac | Marca | Ñaña | Matuc. | Canta | Marca | Picoy | Obraj. | Magda. |
| 16/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 | 15.3 | 14.0 | 2.7 | 13.9 | 0.95 | 1.42 |
| 17/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 14.7 | 13.1 | 2.6 | 13.5 | 0.96 | 1.25 |
| 18/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 15.4 | 13.4 | 3.5 | 11.9 | 0.93 | 1.23 |
| 19/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.6 | 15.6 | 13.3 | 3.9 | 11.3 | 0.90 | 1.30 |
| 20/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 15.3 | 13.5 | 3.1 | 11.0 | 0.90 | 1.34 |
| 21/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 | 15.2 | 12.7 | 3.1 | 11.7 | 0.90 | 1.28 |
| 22/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.4 | 13.8 | 12.9 | 2.7 | 11.3 | 0.87 | 1.29 |
| 23/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 14.4 | 12.9 | 3.0 | 10.9 | 0.90 | 1.32 |
| 24/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.0 | 15.4 | 15.2 | 2.7 | 10.7 | 0.93 | 1.42 |
| 25/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 15.4 | 13.6 | 2.7 | 13.7 | 0.92 | 1.33 |
| 26/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 | 16.1 | 15.2 | 4.6 | 14.9 | 0.98 | 1.34 |
| 27/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 16.2 | 14.7 | 3.9 | 15.3 | 1.02 | 1.51 |
| 28/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.1 | 16.1 | 15.1 | 3.1 | 14.0 | 1.19 | 1.56 |
| 29/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.8 | 15.8 | 15.1 | 2.9 | 15.4 | 1.24 | 1.71 |
| 30/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.7 | 15.4 | 13.7 | 2.7 | 14.5 | 3.88 | 1.79 |
| 31/07/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 15.0 | 13.6 | 2.6 | 12.5 | 2.64 | 2.54 |
| 01/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 15.3 | 13.2 | 3.5 | 11.2 | 1.86 | 1.56 |
| 02/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 16.3 | 13.9 | 3.1 | 12.1 | 1.69 | 1.64 |
| 03/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 16.7 | 16.0 | 14.5 | 3.4 | 12.4 | 1.80 | 1.69 |
| 04/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.6 | 16.3 | 14.2 | 2.8 | 12.8 | 1.91 | 1.63 |
| 05/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 17.3 | 16.0 | 14.5 | 3.5 | 13.5 | 1.80 | 1.80 |
| 06/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 15.7 | 16.0 | 14.6 | 2.6 | 13.2 | 1.86 | 1.96 |
| 07/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.2 | 14.9 | 13.5 | 3.3 | 12.6 | 1.88 | 1.98 |
| 08/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.5 | 16.2 | 14.5 | 2.5 | 15.8 | 1.80 | 1.77 |
| 09/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 16.8 | 14.9 | 3.4 | 12.9 | 1.77 | 1.74 |
| 10/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 16.2 | 14.7 | 3.4 | 13.4 | 1.77 | 1.76 |
| 11/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 15.1 | 13.7 | 3.4 | 12.7 | 1.80 | 1.77 |
| 12/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 15.0 | 13.7 | 3.3 | 15.3 | 1.76 | 1.98 |
| 13/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 15.2 | 12.5 | 3.3 | 11.9 | 1.75 | 1.98 |
| 14/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.8 | 15.3 | 13.2 | 3.5 | 12.2 | 1.74 | 2.02 |
| 15/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 14.4 | 11.9 | 3.9 | 12.1 | 1.74 | 1.94 |
| 16/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.2 | 13.7 | 11.7 | 3.4 | 10.5 | 1.71 | 1.90 |
| 17/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 14.1 | 12.3 | 2.9 | 10.5 | 1.69 | 2.02 |
| 18/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.1 | 15.0 | 12.2 | 2.5 | 9.6 | 1.72 | 1.99 |
| 19/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 | 15.9 | 15.4 | 3.6 | 15.4 | 1.79 | 2.06 |
| 20/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 5.8 | 2.5 | 18.1 | 15.8 | 16.4 | 3.9 | 14.3 | 1.64 | 2.17 |
| 21/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 15.5 | 13.7 | 4.4 | 14.6 | 1.70 | 2.17 |
| 22/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 15.4 | 12.9 | 4.0 | 12.4 | 1.50 | 1.97 |
| 23/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.1 | 14.7 | 12.5 | 3.2 | 12.4 | 1.48 | 1.91 |
| 24/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 15.1 | 13.8 | 2.8 | 11.3 | 1.45 | 2.01 |
| 25/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 15.6 | 14.9 | 4.7 | 13.4 | 1.39 | 1.84 |
| 26/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 3.0 | 10.9 | 8.0 | 17.7 | 14.8 | 13.2 | 3.1 | 13.9 | 1.47 | 1.96 |
| 27/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 17.5 | 15.1 | 13.3 | 3.5 | 12.0 | 1.55 | 2.04 |
| 28/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.1 | 15.5 | 13.1 | 4.5 | 12.8 | 1.59 | 2.04 |
| 29/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.0 | 15.1 | 13.5 | 5.1 | 13.8 | 1.48 | 1.82 |
| 30/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.2 | 14.1 | 12.7 | 3.6 | 12.3 | 1.30 | 1.74 |
| 31/08/05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 | 15.6 | 13.2 | 4.7 | 10.8 | 1.44 | 1.79 |

Fuente: SENAMHI

Tabla A2

Descargas generadas por los modelos propuestos en la presente tesis

| Caudal [m3/s] | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|--------|-------|------|--|--------|-------|------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| Semidistribuido: Estación Obrajillo | | | | | Semidistribuido: Estación Puente Magdalena | | | | Agrupado: Estación Puente Magdalena | | | |
| Fecha | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC |
| 01/09/04 | 1.54 | 0.41 | 0.90 | 1.27 | 1.69 | 0.41 | 1.13 | 1.27 | 2.69 | 2.92 | 2.24 | 1.48 |
| 02/09/04 | 1.53 | 0.43 | 0.83 | 1.25 | 1.68 | 0.43 | 1.06 | 1.25 | 2.69 | 2.90 | 2.06 | 1.53 |
| 03/09/04 | 1.52 | 0.43 | 0.74 | 1.32 | 1.67 | 0.43 | 0.96 | 1.32 | 2.68 | 2.93 | 1.89 | 1.57 |
| 04/09/04 | 1.51 | 0.72 | 0.94 | 1.28 | 1.66 | 0.73 | 1.21 | 1.28 | 2.68 | 2.89 | 1.83 | 1.65 |
| 05/09/04 | 1.51 | 0.64 | 0.85 | 1.68 | 1.66 | 0.64 | 1.11 | 1.68 | 2.68 | 2.98 | 1.73 | 1.70 |
| 06/09/04 | 1.51 | 1.07 | 1.50 | 2.00 | 1.65 | 1.09 | 1.85 | 2.00 | 2.67 | 2.87 | 1.86 | 1.84 |
| 07/09/04 | 1.51 | 1.11 | 1.57 | 2.35 | 1.65 | 1.12 | 1.90 | 2.35 | 2.67 | 3.23 | 1.79 | 1.88 |
| 08/09/04 | 1.51 | 1.25 | 1.68 | 2.29 | 1.65 | 1.27 | 2.08 | 2.29 | 2.66 | 2.83 | 2.51 | 2.26 |
| 09/09/04 | 1.51 | 1.28 | 1.66 | 2.30 | 1.65 | 1.29 | 2.05 | 2.30 | 2.66 | 2.89 | 2.37 | 2.25 |
| 10/09/04 | 1.51 | 1.23 | 1.42 | 2.28 | 1.65 | 1.24 | 1.80 | 2.28 | 2.65 | 3.22 | 2.22 | 2.24 |
| 11/09/04 | 1.51 | 1.30 | 1.33 | 2.07 | 1.65 | 1.35 | 1.79 | 2.08 | 2.65 | 3.09 | 2.80 | 2.55 |
| 12/09/04 | 1.51 | 1.23 | 1.13 | 1.90 | 1.66 | 1.27 | 1.60 | 1.90 | 2.65 | 2.82 | 3.08 | 2.73 |
| 13/09/04 | 1.51 | 1.17 | 0.95 | 1.77 | 1.66 | 1.19 | 1.40 | 1.77 | 2.64 | 2.81 | 2.80 | 2.66 |
| 14/09/04 | 1.52 | 1.12 | 0.82 | 1.67 | 1.66 | 1.13 | 1.23 | 1.67 | 2.64 | 2.80 | 2.56 | 2.59 |
| 15/09/04 | 1.52 | 1.09 | 0.74 | 1.58 | 1.66 | 1.10 | 1.12 | 1.58 | 2.63 | 2.78 | 2.35 | 2.53 |
| 16/09/04 | 1.52 | 1.06 | 0.65 | 1.52 | 1.66 | 1.06 | 1.01 | 1.52 | 2.63 | 2.78 | 2.15 | 2.48 |
| 17/09/04 | 1.52 | 1.05 | 0.63 | 1.44 | 1.66 | 1.06 | 0.96 | 1.44 | 2.63 | 2.76 | 1.99 | 2.43 |
| 18/09/04 | 1.52 | 1.02 | 0.55 | 1.39 | 1.66 | 1.02 | 0.86 | 1.39 | 2.62 | 2.76 | 1.84 | 2.39 |
| 19/09/04 | 1.52 | 0.99 | 0.49 | 1.35 | 1.66 | 0.99 | 0.78 | 1.35 | 2.62 | 2.74 | 1.71 | 2.35 |
| 20/09/04 | 1.52 | 0.96 | 0.43 | 1.34 | 1.66 | 0.96 | 0.71 | 1.34 | 2.62 | 2.83 | 1.58 | 2.31 |
| 21/09/04 | 1.52 | 0.98 | 0.48 | 1.35 | 1.66 | 0.98 | 0.74 | 1.35 | 2.61 | 2.83 | 1.65 | 2.35 |
| 22/09/04 | 1.52 | 1.05 | 0.64 | 1.25 | 1.66 | 1.05 | 0.89 | 1.25 | 2.61 | 2.73 | 1.75 | 2.41 |
| 23/09/04 | 1.52 | 1.02 | 0.57 | 1.42 | 1.66 | 1.02 | 0.81 | 1.42 | 2.61 | 2.75 | 1.63 | 2.37 |
| 24/09/04 | 1.52 | 1.18 | 0.75 | 1.48 | 1.65 | 1.19 | 0.98 | 1.48 | 2.60 | 3.22 | 1.57 | 2.36 |
| 25/09/04 | 1.52 | 1.42 | 1.17 | 1.43 | 1.65 | 1.45 | 1.43 | 1.43 | 2.60 | 2.71 | 2.51 | 2.77 |
| 26/09/04 | 1.52 | 1.36 | 1.05 | 1.95 | 1.65 | 1.37 | 1.30 | 1.95 | 2.60 | 2.78 | 2.30 | 2.70 |
| 27/09/04 | 1.52 | 1.46 | 1.23 | 1.77 | 1.65 | 1.47 | 1.47 | 1.77 | 2.59 | 2.78 | 2.16 | 2.65 |
| 28/09/04 | 1.52 | 1.49 | 1.21 | 2.05 | 1.65 | 1.50 | 1.44 | 2.05 | 2.59 | 2.93 | 2.03 | 2.61 |
| 29/09/04 | 1.53 | 1.81 | 1.68 | 2.26 | 1.67 | 1.83 | 1.91 | 2.26 | 2.59 | 2.78 | 2.27 | 2.71 |
| 30/09/04 | 1.55 | 1.86 | 1.81 | 2.36 | 1.69 | 1.87 | 2.03 | 2.36 | 2.59 | 2.72 | 2.18 | 2.68 |
| 01/10/04 | 1.53 | 1.77 | 1.52 | 2.31 | 1.67 | 1.78 | 1.73 | 2.31 | 2.58 | 2.71 | 2.00 | 2.61 |
| 02/10/04 | 1.52 | 1.72 | 1.32 | 2.16 | 1.66 | 1.72 | 1.52 | 2.16 | 2.58 | 2.73 | 1.65 | 2.55 |
| 03/10/04 | 1.52 | 1.77 | 1.37 | 2.20 | 1.66 | 1.77 | 1.56 | 2.20 | 2.58 | 2.98 | 1.42 | 2.51 |
| 04/10/04 | 1.55 | 2.14 | 1.88 | 2.23 | 1.69 | 2.15 | 2.07 | 2.23 | 2.58 | 2.78 | 1.74 | 2.70 |
| 05/10/04 | 1.56 | 2.22 | 1.98 | 2.44 | 1.70 | 2.23 | 2.16 | 2.44 | 2.57 | 2.83 | 1.62 | 2.71 |
| 06/10/04 | 1.54 | 2.11 | 1.67 | 2.51 | 1.67 | 2.11 | 1.85 | 2.51 | 2.57 | 2.94 | 1.64 | 2.76 |
| 07/10/04 | 1.53 | 2.23 | 1.74 | 2.30 | 1.66 | 2.25 | 1.92 | 2.30 | 2.57 | 2.70 | 1.91 | 2.91 |
| 08/10/04 | 1.53 | 2.27 | 1.81 | 2.18 | 1.66 | 2.28 | 1.98 | 2.18 | 2.57 | 2.67 | 1.63 | 2.84 |
| 09/10/04 | 1.53 | 2.17 | 1.53 | 2.22 | 1.66 | 2.18 | 1.69 | 2.22 | 2.56 | 2.67 | 1.34 | 2.75 |
| 10/10/04 | 1.53 | 2.13 | 1.39 | 2.01 | 1.66 | 2.13 | 1.54 | 2.01 | 2.56 | 2.66 | 1.12 | 2.68 |
| 11/10/04 | 1.53 | 2.07 | 1.19 | 1.86 | 1.66 | 2.07 | 1.34 | 1.86 | 2.56 | 2.66 | 0.92 | 2.61 |
| 12/10/04 | 1.53 | 2.03 | 1.09 | 1.73 | 1.66 | 2.03 | 1.23 | 1.73 | 2.56 | 2.65 | 0.77 | 2.55 |
| 13/10/04 | 1.52 | 1.99 | 0.99 | 1.62 | 1.65 | 1.99 | 1.12 | 1.62 | 2.55 | 2.65 | 0.65 | 2.49 |
| 14/10/04 | 1.52 | 1.96 | 0.93 | 1.54 | 1.65 | 1.96 | 1.05 | 1.54 | 2.55 | 2.65 | 0.56 | 2.44 |
| 15/10/04 | 1.52 | 1.93 | 0.89 | 1.45 | 1.65 | 1.94 | 1.00 | 1.45 | 2.55 | 2.64 | 0.48 | 2.39 |
| 16/10/04 | 1.52 | 1.88 | 0.81 | 1.43 | 1.65 | 1.89 | 0.91 | 1.43 | 2.55 | 2.64 | 0.41 | 2.35 |
| 17/10/04 | 1.52 | 1.90 | 0.88 | 1.51 | 1.65 | 1.91 | 0.98 | 1.51 | 2.55 | 2.74 | 0.38 | 2.32 |
| 18/10/04 | 1.54 | 2.19 | 1.39 | 1.88 | 1.67 | 2.20 | 1.49 | 1.88 | 2.55 | 3.73 | 0.56 | 2.37 |
| 19/10/04 | 1.59 | 2.90 | 2.06 | 2.57 | 1.72 | 2.98 | 2.18 | 2.62 | 2.58 | 2.85 | 2.75 | 3.26 |
| 20/10/04 | 1.63 | 3.02 | 2.50 | 2.88 | 1.75 | 3.09 | 2.63 | 2.89 | 2.60 | 3.56 | 2.79 | 3.32 |
| 21/10/04 | 1.64 | 2.91 | 2.52 | 3.04 | 1.76 | 2.96 | 2.64 | 3.04 | 2.59 | 3.43 | 2.56 | 3.28 |
| 22/10/04 | 1.64 | 3.09 | 2.76 | 2.94 | 1.76 | 3.13 | 2.87 | 2.95 | 2.58 | 3.32 | 2.30 | 3.20 |
| 23/10/04 | 1.66 | 3.13 | 2.74 | 3.15 | 1.79 | 3.16 | 2.85 | 3.16 | 2.58 | 3.35 | 1.98 | 3.11 |
| 24/10/04 | 1.79 | 3.28 | 3.15 | 4.09 | 1.91 | 3.30 | 3.26 | 4.09 | 2.60 | 5.30 | 1.92 | 3.10 |
| 25/10/04 | 2.13 | 4.82 | 4.92 | 5.62 | 2.25 | 5.03 | 5.08 | 5.80 | 2.71 | 5.79 | 6.06 | 4.80 |
| 26/10/04 | 2.45 | 5.42 | 6.13 | 5.68 | 2.57 | 5.67 | 6.32 | 5.79 | 2.82 | 5.50 | 7.22 | 5.40 |
| 27/10/04 | 2.28 | 4.79 | 5.14 | 5.51 | 2.41 | 4.99 | 5.32 | 5.53 | 2.81 | 5.53 | 6.21 | 5.08 |
| 28/10/04 | 2.06 | 4.63 | 4.83 | 4.77 | 2.18 | 4.79 | 5.00 | 4.78 | 2.78 | 5.24 | 5.43 | 4.82 |
| 29/10/04 | 2.07 | 4.56 | 4.36 | 4.62 | 2.20 | 4.68 | 4.53 | 4.65 | 2.76 | 5.04 | 4.74 | 4.60 |
| 30/10/04 | 2.19 | 4.79 | 4.71 | 4.13 | 2.31 | 4.88 | 4.88 | 4.15 | 2.75 | 4.71 | 4.31 | 4.44 |
| 31/10/04 | 2.17 | 4.54 | 4.07 | 4.06 | 2.29 | 4.60 | 4.23 | 4.07 | 2.74 | 4.49 | 3.70 | 4.21 |
| 01/11/04 | 2.14 | 4.40 | 3.50 | 4.10 | 2.26 | 4.44 | 3.65 | 4.11 | 2.75 | 5.83 | 3.11 | 4.00 |
| 02/11/04 | 2.54 | 5.87 | 5.28 | 4.65 | 2.67 | 6.01 | 5.47 | 4.74 | 2.80 | 5.08 | 5.38 | 5.11 |
| 03/11/04 | 2.77 | 5.41 | 4.83 | 4.98 | 2.89 | 5.52 | 5.02 | 5.01 | 2.85 | 6.60 | 4.48 | 4.97 |
| 04/11/04 | 3.00 | 5.92 | 5.75 | 5.19 | 3.12 | 6.16 | 5.96 | 5.36 | 2.90 | 7.11 | 6.33 | 5.90 |
| 05/11/04 | 3.25 | 5.83 | 5.91 | 5.36 | 3.37 | 6.06 | 6.14 | 5.43 | 2.99 | 8.20 | 7.38 | 6.60 |
| 06/11/04 | 3.45 | 6.02 | 6.08 | 5.88 | 3.57 | 6.23 | 6.32 | 5.96 | 3.11 | 10.36 | 9.02 | 7.59 |
| 07/11/04 | 4.29 | 7.34 | 7.51 | 7.53 | 4.41 | 7.66 | 7.83 | 7.71 | 3.32 | 11.31 | 11.75 | 9.17 |
| 08/11/04 | 5.90 | 8.80 | 9.85 | 8.71 | 6.03 | 9.19 | 10.25 | 8.92 | 3.52 | 10.22 | 12.71 | 10.18 |
| 09/11/04 | 6.55 | 8.03 | 10.24 | 8.64 | 6.67 | 8.35 | 10.64 | 8.74 | 3.55 | 11.50 | 10.69 | 9.57 |
| 10/11/04 | 5.90 | 7.93 | 9.51 | 7.96 | 6.03 | 8.22 | 9.93 | 8.09 | 3.54 | 10.09 | 11.09 | 10.13 |
| 11/11/04 | 5.13 | 7.32 | 8.18 | 7.26 | 5.26 | 7.56 | 8.58 | 7.34 | 3.54 | 10.64 | 9.09 | 9.42 |
| 12/11/04 | 4.76 | 7.56 | 7.60 | 6.30 | 4.89 | 7.91 | 8.03 | 6.56 | 3.51 | 9.06 | 8.95 | 9.51 |
| 13/11/04 | 4.42 | 7.08 | 6.42 | 5.76 | 4.54 | 7.36 | 6.82 | 5.85 | 3.48 | 8.95 | 7.31 | 8.83 |
| 14/11/04 | 4.12 | 6.78 | 5.33 | 5.00 | 4.24 | 6.99 | 5.71 | 5.07 | 3.44 | 8.31 | 5.86 | 8.19 |
| 15/11/04 | 3.88 | 6.53 | 4.45 | 4.36 | 4.00 | 6.71 | 4.80 | 4.42 | 3.40 | 7.74 | 4.58 | 7.61 |
| 16/11/04 | 3.69 | 6.33 | 3.72 | 3.83 | 3.81 | 6.46 | 4.05 | 3.89 | 3.37 | 7.23 | 3.49 | 7.08 |
| 17/11/04 | 3.53 | 6.14 | 3.12 | 3.39 | 3.65 | 6.24 | 3.43 | 3.45 | 3.34 | 6.77 | 2.56 | 6.60 |
| 18/11/04 | 3.40 | 5.96 | 2.64 | 3.03 | 3.52 | 6.03 | 2.92 | 3.08 | 3.31 | 6.35 | 1.82 | 6.17 |
| 19/11/04 | 3.28 | 5.79 | 2.24 | 2.78 | 3.39 | 5.84 | 2.51 | 2.83 | 3.28 | 6.00 | 1.26 | 5.78 |
| 20/11/04 | 3.24 | 5.73 | 2.27 | 2.68 | 3.36 | 5.77 | 2.52 | 2.72 | 3.25 | 5.70 | 0.87 | 5.44 |
| 21/11/04 | 3.40 | 5.82 | 2.81 | 2.93 | 3.52 | 5.85 | 3.05 | 2.98 | 3.23 | 5.42 | 0.64 | 5.17 |
| 22/11/04 | 3.83 | 6.12 | 3.91 | 2.96 | 3.94 | 6.14 | 4.14 | 3.01 | 3.20 | 5.08 | 0.55 | 4.94 |

continúa en la siguiente pagina

Tabla A2 – Continua de la pagina anterior

| Fecha | Semidistribuido: Estación Obrajillo | | | | Semidistribuido: Estación Puente Magdalena | | | | Agrupado: Estación Puente Magdalena | | | |
|----------|-------------------------------------|--------|-------|-------|--|--------|-------|-------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC |
| 23/11/04 | 3.63 | 5.79 | 3.35 | 3.17 | 3.75 | 5.80 | 3.57 | 3.21 | 3.18 | 4.83 | 0.34 | 4.67 |
| 24/11/04 | 3.39 | 5.62 | 2.87 | 2.85 | 3.50 | 5.63 | 3.07 | 2.88 | 3.16 | 4.59 | 0.20 | 4.42 |
| 25/11/04 | 3.23 | 5.46 | 2.43 | 2.58 | 3.35 | 5.46 | 2.62 | 2.61 | 3.14 | 4.39 | 0.12 | 4.19 |
| 26/11/04 | 3.10 | 5.30 | 2.07 | 2.35 | 3.21 | 5.30 | 2.25 | 2.39 | 3.11 | 4.21 | 0.08 | 3.98 |
| 27/11/04 | 2.98 | 5.15 | 1.78 | 2.17 | 3.09 | 5.15 | 1.95 | 2.20 | 3.09 | 4.05 | 0.09 | 3.79 |
| 28/11/04 | 2.87 | 5.00 | 1.54 | 2.02 | 2.99 | 5.01 | 1.70 | 2.05 | 3.07 | 3.91 | 0.08 | 3.61 |
| 29/11/04 | 2.78 | 4.87 | 1.38 | 1.89 | 2.90 | 4.87 | 1.53 | 1.92 | 3.06 | 3.77 | 0.08 | 3.46 |
| 30/11/04 | 2.70 | 4.73 | 1.21 | 1.80 | 2.81 | 4.73 | 1.35 | 1.83 | 3.04 | 4.04 | 0.08 | 3.31 |
| 01/12/04 | 2.67 | 4.62 | 1.16 | 1.93 | 2.78 | 4.63 | 1.29 | 1.96 | 3.02 | 3.62 | 0.08 | 3.51 |
| 02/12/04 | 2.82 | 4.98 | 2.36 | 2.41 | 2.93 | 4.99 | 2.49 | 2.44 | 3.01 | 4.66 | 0.58 | 3.42 |
| 03/12/04 | 3.04 | 5.14 | 3.17 | 2.75 | 3.15 | 5.18 | 3.30 | 2.81 | 3.04 | 4.40 | 2.76 | 4.31 |
| 04/12/04 | 2.90 | 5.10 | 3.10 | 2.80 | 3.01 | 5.13 | 3.23 | 2.84 | 3.06 | 4.16 | 2.76 | 4.49 |
| 05/12/04 | 2.80 | 4.89 | 2.62 | 2.74 | 2.91 | 4.91 | 2.74 | 2.77 | 3.05 | 5.37 | 1.83 | 4.26 |
| 06/12/04 | 2.79 | 5.17 | 2.81 | 2.77 | 2.90 | 5.31 | 2.94 | 2.96 | 3.09 | 5.64 | 3.92 | 5.21 |
| 07/12/04 | 2.89 | 5.64 | 3.66 | 2.80 | 3.00 | 5.87 | 3.81 | 3.02 | 3.14 | 6.02 | 4.51 | 5.65 |
| 08/12/04 | 2.90 | 5.38 | 3.60 | 3.14 | 3.01 | 5.65 | 3.76 | 3.25 | 3.15 | 5.23 | 4.95 | 6.06 |
| 09/12/04 | 2.97 | 5.47 | 3.56 | 4.03 | 3.08 | 5.72 | 3.73 | 4.18 | 3.18 | 9.20 | 4.02 | 5.84 |
| 10/12/04 | 3.93 | 7.56 | 6.33 | 5.47 | 4.04 | 8.32 | 6.61 | 6.23 | 3.44 | 9.00 | 9.86 | 8.40 |
| 11/12/04 | 4.78 | 7.35 | 7.37 | 5.92 | 4.91 | 8.19 | 7.71 | 6.67 | 3.65 | 8.62 | 9.21 | 8.50 |
| 12/12/04 | 4.56 | 6.94 | 7.02 | 5.91 | 4.73 | 7.67 | 7.35 | 6.31 | 3.57 | 8.22 | 7.43 | 7.98 |
| 13/12/04 | 4.29 | 6.66 | 6.80 | 5.48 | 4.51 | 7.31 | 7.13 | 5.88 | 3.48 | 7.60 | 5.82 | 7.50 |
| 14/12/04 | 4.26 | 6.25 | 5.76 | 5.82 | 4.48 | 6.80 | 6.06 | 6.16 | 3.48 | 9.58 | 4.29 | 7.01 |
| 15/12/04 | 5.42 | 7.95 | 8.07 | 6.96 | 5.61 | 8.65 | 8.47 | 7.82 | 3.70 | 11.48 | 8.09 | 8.75 |
| 16/12/04 | 6.52 | 7.91 | 8.56 | 7.99 | 6.68 | 8.75 | 9.07 | 8.88 | 4.04 | 11.47 | 10.67 | 10.22 |
| 17/12/04 | 7.66 | 8.81 | 10.11 | 8.50 | 7.79 | 9.60 | 10.67 | 9.09 | 4.14 | 10.66 | 9.87 | 10.18 |
| 18/12/04 | 7.58 | 7.83 | 9.40 | 8.38 | 7.71 | 8.52 | 9.94 | 8.82 | 4.03 | 10.07 | 8.02 | 9.53 |
| 19/12/04 | 7.86 | 8.30 | 9.73 | 8.54 | 7.99 | 8.90 | 10.26 | 8.95 | 3.92 | 9.28 | 6.41 | 8.93 |
| 20/12/04 | 8.17 | 7.91 | 9.75 | 8.55 | 8.30 | 8.44 | 10.27 | 8.94 | 3.86 | 8.64 | 4.95 | 8.35 |
| 21/12/04 | 7.72 | 7.93 | 8.99 | 8.07 | 7.84 | 8.37 | 9.49 | 8.44 | 3.81 | 8.93 | 3.76 | 7.83 |
| 22/12/04 | 7.46 | 8.06 | 8.77 | 7.28 | 7.58 | 8.60 | 9.32 | 8.02 | 3.80 | 7.74 | 4.61 | 8.16 |
| 23/12/04 | 7.01 | 7.83 | 7.60 | 7.48 | 7.13 | 8.34 | 8.15 | 7.97 | 3.78 | 7.73 | 3.95 | 7.87 |
| 24/12/04 | 7.70 | 8.85 | 8.88 | 7.77 | 7.82 | 9.31 | 9.44 | 8.13 | 3.73 | 7.23 | 3.05 | 7.44 |
| 25/12/04 | 7.86 | 8.06 | 8.61 | 7.71 | 7.99 | 8.43 | 9.13 | 8.02 | 3.67 | 6.67 | 2.32 | 7.05 |
| 26/12/04 | 7.28 | 7.94 | 7.71 | 7.37 | 7.40 | 8.24 | 8.20 | 7.66 | 3.63 | 6.33 | 1.63 | 6.60 |
| 27/12/04 | 7.56 | 8.39 | 8.29 | 7.30 | 7.68 | 8.64 | 8.76 | 7.58 | 3.58 | 5.96 | 1.20 | 6.25 |
| 28/12/04 | 7.20 | 7.84 | 7.52 | 7.06 | 7.32 | 8.04 | 7.96 | 7.33 | 3.54 | 5.59 | 0.92 | 5.91 |
| 29/12/04 | 6.82 | 7.88 | 7.07 | 6.32 | 6.94 | 8.04 | 7.48 | 6.57 | 3.51 | 5.54 | 0.59 | 5.57 |
| 30/12/04 | 6.55 | 7.62 | 6.45 | 6.28 | 6.67 | 7.75 | 6.85 | 6.53 | 3.47 | 5.09 | 0.87 | 5.49 |
| 31/12/04 | 6.72 | 8.05 | 6.86 | 6.28 | 6.84 | 8.17 | 7.25 | 6.55 | 3.43 | 4.85 | 0.68 | 5.25 |
| 01/01/05 | 6.85 | 7.78 | 6.92 | 6.46 | 6.97 | 7.89 | 7.30 | 6.74 | 3.40 | 4.81 | 0.56 | 5.03 |
| 02/01/05 | 7.10 | 8.18 | 7.09 | 6.79 | 7.21 | 8.33 | 7.47 | 7.16 | 3.39 | 5.96 | 0.88 | 4.99 |
| 03/01/05 | 8.09 | 8.32 | 7.89 | 8.63 | 8.21 | 8.52 | 8.30 | 9.05 | 3.56 | 9.64 | 3.87 | 6.14 |
| 04/01/05 | 10.79 | 10.88 | 10.87 | 10.38 | 10.91 | 11.36 | 11.40 | 11.19 | 4.02 | 9.40 | 10.32 | 9.07 |
| 05/01/05 | 11.03 | 9.62 | 10.77 | 10.30 | 11.15 | 10.25 | 11.38 | 11.19 | 4.28 | 10.46 | 9.29 | 8.88 |
| 06/01/05 | 9.71 | 9.71 | 10.33 | 9.45 | 9.83 | 10.46 | 11.01 | 10.37 | 4.25 | 9.18 | 9.88 | 9.54 |
| 07/01/05 | 8.46 | 8.88 | 8.87 | 8.87 | 8.59 | 9.53 | 9.52 | 9.45 | 4.23 | 10.44 | 7.91 | 8.91 |
| 08/01/05 | 7.85 | 8.60 | 7.67 | 8.15 | 8.00 | 9.22 | 8.32 | 8.77 | 4.28 | 10.47 | 8.97 | 9.62 |
| 09/01/05 | 9.40 | 10.41 | 9.68 | 9.88 | 9.56 | 11.16 | 10.42 | 10.79 | 4.41 | 11.43 | 9.12 | 9.92 |
| 10/01/05 | 11.93 | 10.09 | 11.54 | 11.12 | 12.08 | 10.86 | 12.35 | 11.88 | 4.55 | 10.34 | 10.40 | 10.83 |
| 11/01/05 | 12.16 | 10.57 | 11.61 | 11.28 | 12.29 | 11.28 | 12.42 | 11.90 | 4.57 | 10.42 | 8.85 | 10.27 |
| 12/01/05 | 11.23 | 9.77 | 11.28 | 10.69 | 11.36 | 10.42 | 12.08 | 11.27 | 4.48 | 11.18 | 7.61 | 9.80 |
| 13/01/05 | 10.48 | 9.99 | 10.65 | 10.11 | 10.61 | 10.74 | 11.51 | 10.89 | 4.58 | 11.10 | 9.38 | 10.77 |
| 14/01/05 | 9.81 | 9.63 | 10.07 | 9.50 | 9.93 | 10.36 | 10.95 | 10.21 | 4.71 | 10.27 | 9.27 | 10.97 |
| 15/01/05 | 9.13 | 9.71 | 9.29 | 8.88 | 9.25 | 10.38 | 10.16 | 9.49 | 4.64 | 9.79 | 7.48 | 10.25 |
| 16/01/05 | 8.75 | 9.47 | 9.08 | 8.00 | 8.88 | 10.08 | 9.92 | 8.54 | 4.50 | 9.01 | 6.01 | 9.55 |
| 17/01/05 | 7.88 | 9.03 | 7.61 | 7.91 | 8.01 | 9.57 | 8.39 | 8.39 | 4.39 | 8.37 | 4.67 | 8.85 |
| 18/01/05 | 7.08 | 8.72 | 6.40 | 6.83 | 7.21 | 9.18 | 7.12 | 7.28 | 4.30 | 7.80 | 3.56 | 8.22 |
| 19/01/05 | 6.46 | 8.45 | 5.40 | 5.94 | 6.59 | 8.84 | 6.08 | 6.36 | 4.22 | 7.28 | 2.67 | 7.64 |
| 20/01/05 | 5.96 | 8.21 | 4.59 | 5.20 | 6.09 | 8.52 | 5.22 | 5.61 | 4.15 | 6.82 | 1.96 | 7.12 |
| 21/01/05 | 5.54 | 7.98 | 3.93 | 4.59 | 5.66 | 8.24 | 4.51 | 4.98 | 4.07 | 6.40 | 1.44 | 6.64 |
| 22/01/05 | 5.17 | 7.77 | 3.38 | 4.09 | 5.30 | 7.97 | 3.93 | 4.46 | 4.01 | 6.05 | 0.95 | 6.21 |
| 23/01/05 | 4.86 | 7.56 | 2.94 | 3.70 | 4.98 | 7.73 | 3.46 | 4.07 | 3.95 | 5.79 | 0.66 | 5.85 |
| 24/01/05 | 4.61 | 7.46 | 2.81 | 3.40 | 4.73 | 7.62 | 3.31 | 3.80 | 3.89 | 5.46 | 0.61 | 5.59 |
| 25/01/05 | 4.55 | 7.43 | 2.92 | 3.44 | 4.67 | 7.60 | 3.41 | 3.85 | 3.83 | 5.57 | 0.54 | 5.33 |
| 26/01/05 | 5.04 | 8.22 | 4.99 | 3.61 | 5.16 | 8.43 | 5.48 | 4.06 | 3.78 | 4.86 | 1.29 | 5.45 |
| 27/01/05 | 4.93 | 7.54 | 4.43 | 4.05 | 5.05 | 7.71 | 4.89 | 4.39 | 3.73 | 4.68 | 0.81 | 5.14 |
| 28/01/05 | 4.65 | 7.29 | 3.92 | 3.77 | 4.77 | 7.42 | 4.35 | 4.07 | 3.69 | 4.66 | 0.46 | 4.85 |
| 29/01/05 | 4.87 | 7.44 | 4.32 | 4.70 | 4.99 | 7.59 | 4.74 | 5.11 | 3.74 | 8.39 | 0.66 | 4.76 |
| 30/01/05 | 7.27 | 9.81 | 8.20 | 7.02 | 7.39 | 10.29 | 8.74 | 7.83 | 4.21 | 9.19 | 7.86 | 7.84 |
| 31/01/05 | 9.73 | 9.46 | 10.62 | 8.77 | 9.85 | 9.93 | 11.20 | 9.43 | 4.71 | 8.67 | 9.35 | 8.87 |
| 01/02/05 | 9.32 | 9.39 | 10.45 | 8.65 | 9.44 | 9.80 | 11.02 | 9.15 | 4.69 | 8.71 | 7.71 | 8.37 |
| 02/02/05 | 7.76 | 8.56 | 8.77 | 8.11 | 7.88 | 8.90 | 9.31 | 8.52 | 4.49 | 8.19 | 6.44 | 7.81 |
| 03/02/05 | 7.01 | 8.16 | 7.38 | 7.11 | 7.14 | 8.44 | 7.89 | 7.49 | 4.39 | 8.53 | 5.56 | 7.39 |
| 04/02/05 | 6.64 | 8.19 | 7.16 | 6.10 | 6.76 | 8.44 | 7.67 | 6.54 | 4.37 | 7.05 | 6.60 | 7.83 |
| 05/02/05 | 6.15 | 7.82 | 6.23 | 5.69 | 6.27 | 8.02 | 6.70 | 6.05 | 4.34 | 7.34 | 5.52 | 7.30 |
| 06/02/05 | 5.71 | 7.59 | 5.35 | 5.06 | 5.83 | 7.75 | 5.79 | 5.40 | 4.25 | 6.88 | 4.52 | 6.81 |
| 07/02/05 | 5.49 | 7.49 | 4.96 | 4.69 | 5.61 | 7.60 | 5.37 | 5.01 | 4.17 | 6.49 | 3.67 | 6.38 |
| 08/02/05 | 5.77 | 7.55 | 5.42 | 5.05 | 5.89 | 7.63 | 5.80 | 5.38 | 4.15 | 8.21 | 3.03 | 6.02 |
| 09/02/05 | 6.92 | 8.66 | 7.45 | 6.38 | 7.03 | 9.05 | 7.90 | 7.20 | 4.37 | 8.31 | 6.83 | 7.66 |
| 10/02/05 | 7.74 | 8.59 | 8.51 | 6.90 | 7.85 | 8.95 | 8.97 | 7.48 | 4.55 | 7.90 | 7.43 | 8.03 |
| 11/02/05 | 7.03 | 8.27 | 7.81 | 6.96 | 7.15 | 8.64 | 8.26 | 7.56 | 4.48 | 8.55 | 6.39 | 7.59 |
| 12/02/05 | 6.57 | 8.21 | 7.45 | 6.32 | 6.69 | 8.63 | 7.92 | 7.04 | 4.45 | 8.25 | 7.49 | 8.10 |
| 13/02/05 | 6.30 | 8.16 | 6.90 | 6.52 | 6.42 | 8.81 | 7.42 | 7.53 | 4.52 | 9.26 | 7.90 | 8.30 |
| 14/02/05 | 7.08 | 9.64 | 8.34 | 7.42 | 7.19 | 10.48 | 8.99 | 8.50 | 4.62 | 8.40 | 9.36 | 9.05 |
| 15/02/05 | 8.00 | 9.41 | 9.60 | 7.95 | 8.12 | 10.19 | 10.27 | 8.71 | 4.62 | 8.13 | 8.27 | 8.62 |
| 16/02/05 | 7.16 | 8.58 | 8.05 | 8.00 | 7.29 | 9.24 | 8.68 | 8.62 | 4.50 | 7.63 | 6.90 | 8.00 |
| 17/02/05 | 6.60 | 8.10 | 6.89 | 7.09 | 6.73 | 8.66 | 7.48 | 7.66 | 4.38 | 7.25 | 5.90 | 7.50 |
| 18/02/05 | 6.70 | 8.49 | 7.39 | 6.48 | 6.82 | 8.98 | 7.97 | 7.07 | 4.30 | 6.73 | 5.23 | 7.15 |
| 19/02/05 | 6.75 | 8.11 | 7.12 | 6.88 | 6.88 | 8.53 | 7.68 | 7.55 | 4.35 | 10.42 | 4.40 | 6.76 |

continúa en la siguiente pagina

Tabla A2 – Continua de la pagina anterior

| Caudal [m3/s] | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|--------|-------|-------|--|--------|-------|-------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| Semidistribuido: Estación Obrajillo | | | | | Semidistribuido: Estación Puente Magdalena | | | | Agrupado: Estación Puente Magdalena | | | |
| Fecha | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC |
| 20/02/05 | 7.89 | 9.58 | 8.76 | 8.60 | 8.02 | 10.47 | 9.49 | 9.97 | 4.91 | 10.09 | 11.05 | 9.82 |
| 21/02/05 | 10.09 | 9.30 | 10.98 | 10.26 | 10.25 | 10.11 | 11.73 | 11.32 | 5.30 | 9.66 | 10.66 | 9.82 |
| 22/02/05 | 9.98 | 9.40 | 10.75 | 9.94 | 10.18 | 10.10 | 11.46 | 10.86 | 5.11 | 9.01 | 9.12 | 9.17 |
| 23/02/05 | 8.55 | 8.59 | 9.06 | 9.35 | 8.80 | 9.19 | 9.73 | 10.20 | 4.88 | 8.61 | 7.63 | 8.51 |
| 24/02/05 | 8.06 | 8.84 | 8.81 | 8.02 | 8.30 | 9.37 | 9.47 | 8.87 | 4.75 | 7.94 | 6.73 | 8.14 |
| 25/02/05 | 7.47 | 8.58 | 8.14 | 7.46 | 7.66 | 9.08 | 8.79 | 8.41 | 4.64 | 7.36 | 5.85 | 7.71 |
| 26/02/05 | 6.79 | 8.28 | 7.10 | 6.76 | 6.94 | 8.70 | 7.71 | 7.56 | 4.54 | 6.83 | 4.98 | 7.26 |
| 27/02/05 | 6.21 | 7.98 | 6.14 | 5.93 | 6.35 | 8.33 | 6.71 | 6.66 | 4.44 | 6.43 | 4.10 | 6.78 |
| 28/02/05 | 5.80 | 7.82 | 5.56 | 5.30 | 5.94 | 8.10 | 6.09 | 6.00 | 4.36 | 6.14 | 3.33 | 6.36 |
| 01/03/05 | 5.68 | 7.90 | 5.71 | 4.76 | 5.81 | 8.16 | 6.23 | 5.49 | 4.28 | 5.85 | 2.89 | 6.07 |
| 02/03/05 | 5.76 | 8.05 | 5.95 | 5.03 | 5.89 | 8.27 | 6.46 | 5.75 | 4.20 | 5.55 | 2.90 | 5.84 |
| 03/03/05 | 6.06 | 8.29 | 6.81 | 5.19 | 6.19 | 8.51 | 7.32 | 5.91 | 4.13 | 5.24 | 2.92 | 5.64 |
| 04/03/05 | 5.77 | 7.78 | 6.03 | 5.56 | 5.91 | 7.96 | 6.51 | 6.19 | 4.06 | 5.23 | 2.92 | 5.43 |
| 05/03/05 | 5.67 | 7.95 | 6.28 | 4.83 | 5.80 | 8.11 | 6.74 | 5.45 | 4.00 | 4.69 | 3.36 | 5.47 |
| 06/03/05 | 5.53 | 7.62 | 5.48 | 5.35 | 5.66 | 7.76 | 5.92 | 5.96 | 3.99 | 6.16 | 3.10 | 5.19 |
| 07/03/05 | 6.16 | 8.86 | 7.33 | 5.95 | 6.29 | 9.18 | 7.83 | 6.96 | 4.17 | 6.78 | 6.29 | 6.53 |
| 08/03/05 | 6.25 | 8.46 | 7.27 | 6.35 | 6.38 | 8.94 | 7.83 | 7.42 | 4.39 | 6.58 | 8.02 | 7.28 |
| 09/03/05 | 5.72 | 7.92 | 6.30 | 6.00 | 5.85 | 8.39 | 6.84 | 6.89 | 4.38 | 6.43 | 7.87 | 7.13 |
| 10/03/05 | 5.40 | 7.60 | 5.66 | 5.39 | 5.53 | 8.00 | 6.17 | 6.08 | 4.29 | 7.52 | 7.12 | 6.70 |
| 11/03/05 | 5.39 | 7.78 | 6.00 | 4.94 | 5.52 | 8.18 | 6.53 | 5.71 | 4.38 | 7.04 | 9.26 | 7.70 |
| 12/03/05 | 5.33 | 7.54 | 5.89 | 5.07 | 5.46 | 7.90 | 6.42 | 5.75 | 4.43 | 6.79 | 9.39 | 7.75 |
| 13/03/05 | 5.35 | 7.56 | 5.75 | 5.22 | 5.48 | 7.89 | 6.27 | 5.99 | 4.45 | 10.15 | 8.58 | 7.33 |
| 14/03/05 | 6.23 | 8.75 | 7.54 | 6.66 | 6.38 | 9.56 | 8.22 | 8.09 | 4.92 | 9.34 | 13.69 | 9.93 |
| 15/03/05 | 6.74 | 8.48 | 8.01 | 7.08 | 6.93 | 9.24 | 8.72 | 8.23 | 5.25 | 9.06 | 12.63 | 9.42 |
| 16/03/05 | 6.20 | 8.17 | 7.46 | 6.88 | 6.45 | 8.84 | 8.15 | 7.89 | 5.05 | 9.07 | 11.41 | 8.80 |
| 17/03/05 | 5.87 | 7.89 | 6.99 | 6.29 | 6.20 | 8.50 | 7.67 | 7.29 | 4.86 | 7.80 | 11.42 | 8.86 |
| 18/03/05 | 5.73 | 7.55 | 6.17 | 6.19 | 6.03 | 8.07 | 6.81 | 7.11 | 4.81 | 9.28 | 10.24 | 8.24 |
| 19/03/05 | 6.58 | 8.93 | 8.30 | 6.55 | 6.82 | 9.52 | 9.01 | 7.69 | 4.95 | 8.01 | 12.10 | 9.27 |
| 20/03/05 | 6.95 | 7.94 | 7.51 | 7.78 | 7.14 | 8.44 | 8.17 | 8.71 | 5.16 | 12.07 | 10.85 | 8.63 |
| 21/03/05 | 8.46 | 9.74 | 9.99 | 9.52 | 8.62 | 10.51 | 10.79 | 11.00 | 5.80 | 12.20 | 15.78 | 11.43 |
| 22/03/05 | 9.57 | 8.93 | 10.46 | 10.61 | 9.74 | 9.77 | 11.33 | 12.02 | 6.44 | 13.22 | 16.03 | 11.91 |
| 23/03/05 | 10.15 | 9.89 | 11.45 | 10.94 | 10.31 | 10.75 | 12.38 | 12.29 | 6.62 | 12.25 | 16.62 | 12.64 |
| 24/03/05 | 9.37 | 8.81 | 10.57 | 10.58 | 9.54 | 9.58 | 11.45 | 11.62 | 6.53 | 13.27 | 15.44 | 12.09 |
| 25/03/05 | 8.82 | 8.89 | 10.05 | 9.56 | 8.98 | 9.67 | 10.97 | 10.82 | 6.66 | 14.48 | 16.22 | 12.89 |
| 26/03/05 | 8.14 | 8.72 | 9.25 | 9.05 | 8.30 | 9.78 | 10.28 | 10.65 | 7.13 | 14.05 | 17.41 | 14.04 |
| 27/03/05 | 7.84 | 8.59 | 8.36 | 8.94 | 8.00 | 9.60 | 9.40 | 10.31 | 7.30 | 14.49 | 16.63 | 13.71 |
| 28/03/05 | 9.88 | 10.10 | 10.70 | 11.36 | 10.05 | 11.10 | 11.79 | 12.73 | 7.33 | 14.60 | 16.93 | 14.18 |
| 29/03/05 | 13.12 | 10.01 | 12.89 | 13.59 | 13.29 | 10.99 | 14.05 | 14.84 | 7.47 | 13.55 | 17.06 | 14.57 |
| 30/03/05 | 14.40 | 11.46 | 14.12 | 13.64 | 14.57 | 12.37 | 15.31 | 14.78 | 7.28 | 13.20 | 15.84 | 13.83 |
| 31/03/05 | 12.44 | 9.83 | 12.71 | 13.02 | 12.61 | 10.70 | 13.86 | 14.22 | 6.85 | 11.83 | 14.89 | 13.24 |
| 01/04/05 | 11.43 | 10.02 | 12.22 | 11.76 | 11.59 | 10.80 | 13.33 | 12.79 | 6.50 | 11.30 | 13.48 | 12.33 |
| 02/04/05 | 10.36 | 9.37 | 11.00 | 11.10 | 10.52 | 10.06 | 12.06 | 12.07 | 6.23 | 10.54 | 13.10 | 11.84 |
| 03/04/05 | 9.69 | 9.70 | 10.58 | 10.04 | 9.85 | 10.35 | 11.63 | 11.04 | 6.02 | 10.46 | 12.85 | 11.46 |
| 04/04/05 | 9.03 | 9.57 | 9.93 | 9.53 | 9.19 | 10.25 | 11.00 | 10.65 | 5.95 | 9.36 | 13.49 | 11.67 |
| 05/04/05 | 8.67 | 9.46 | 9.35 | 9.23 | 8.83 | 10.05 | 10.36 | 10.13 | 5.89 | 10.04 | 12.52 | 10.87 |
| 06/04/05 | 8.99 | 9.59 | 10.07 | 9.04 | 9.15 | 10.21 | 11.10 | 10.15 | 5.84 | 8.48 | 13.30 | 11.18 |
| 07/04/05 | 8.40 | 9.24 | 9.20 | 8.88 | 8.56 | 9.79 | 10.18 | 9.74 | 5.79 | 9.89 | 12.47 | 10.51 |
| 08/04/05 | 7.58 | 8.94 | 8.09 | 7.98 | 7.74 | 9.50 | 9.04 | 8.99 | 5.83 | 8.64 | 13.62 | 11.09 |
| 09/04/05 | 6.89 | 8.63 | 6.89 | 6.94 | 7.05 | 9.10 | 7.77 | 7.70 | 5.79 | 8.52 | 12.51 | 10.26 |
| 10/04/05 | 6.33 | 8.37 | 5.92 | 6.07 | 6.48 | 8.77 | 6.75 | 6.78 | 5.58 | 7.94 | 11.51 | 9.51 |
| 11/04/05 | 5.85 | 8.17 | 5.22 | 5.34 | 6.01 | 8.50 | 6.00 | 6.02 | 5.39 | 7.44 | 10.59 | 8.84 |
| 12/04/05 | 5.83 | 7.94 | 4.55 | 5.67 | 5.98 | 8.21 | 5.28 | 6.32 | 5.23 | 7.22 | 9.80 | 8.25 |
| 13/04/05 | 7.81 | 10.55 | 8.62 | 6.40 | 7.97 | 10.84 | 9.36 | 7.15 | 5.17 | 8.36 | 9.53 | 7.96 |
| 14/04/05 | 7.73 | 8.85 | 7.77 | 6.88 | 7.88 | 9.16 | 8.51 | 7.68 | 5.46 | 8.89 | 12.11 | 9.30 |
| 15/04/05 | 6.63 | 8.75 | 6.93 | 6.06 | 6.79 | 9.10 | 7.69 | 6.85 | 5.83 | 8.12 | 13.40 | 10.04 |
| 16/04/05 | 6.10 | 8.27 | 5.98 | 5.42 | 6.25 | 8.56 | 6.69 | 6.03 | 5.79 | 8.05 | 12.30 | 9.31 |
| 17/04/05 | 5.65 | 7.96 | 5.26 | 4.84 | 5.80 | 8.20 | 5.93 | 5.40 | 5.53 | 7.55 | 11.31 | 8.65 |
| 18/04/05 | 5.29 | 7.80 | 4.94 | 4.31 | 5.44 | 8.00 | 5.57 | 4.86 | 5.34 | 7.04 | 10.46 | 8.08 |
| 19/04/05 | 5.01 | 7.55 | 4.47 | 3.98 | 5.16 | 7.71 | 5.05 | 4.49 | 5.19 | 6.62 | 9.64 | 7.54 |
| 20/04/05 | 4.89 | 7.53 | 4.62 | 3.68 | 5.04 | 7.66 | 5.17 | 4.16 | 5.06 | 6.24 | 8.91 | 7.05 |
| 21/04/05 | 4.84 | 7.45 | 4.94 | 3.58 | 4.99 | 7.56 | 5.45 | 4.05 | 4.94 | 5.87 | 8.25 | 6.62 |
| 22/04/05 | 4.66 | 7.29 | 4.66 | 3.66 | 4.81 | 7.38 | 5.14 | 4.10 | 4.83 | 5.55 | 7.63 | 6.21 |
| 23/04/05 | 4.45 | 7.11 | 4.30 | 3.38 | 4.59 | 7.18 | 4.75 | 3.81 | 4.72 | 5.26 | 7.05 | 5.83 |
| 24/04/05 | 4.25 | 6.91 | 3.79 | 3.11 | 4.40 | 6.96 | 4.20 | 3.52 | 4.63 | 5.00 | 6.51 | 5.49 |
| 25/04/05 | 4.07 | 6.72 | 3.36 | 2.89 | 4.22 | 6.76 | 3.75 | 3.29 | 4.54 | 4.77 | 6.03 | 5.17 |
| 26/04/05 | 3.91 | 6.53 | 3.01 | 2.74 | 4.05 | 6.57 | 3.37 | 3.12 | 4.46 | 4.57 | 5.59 | 4.89 |
| 27/04/05 | 3.76 | 6.41 | 2.95 | 2.56 | 3.91 | 6.44 | 3.29 | 2.92 | 4.38 | 4.38 | 5.20 | 4.64 |
| 28/04/05 | 3.63 | 6.22 | 2.67 | 2.46 | 3.77 | 6.25 | 2.99 | 2.81 | 4.31 | 4.21 | 4.82 | 4.40 |
| 29/04/05 | 3.50 | 6.05 | 2.45 | 2.39 | 3.64 | 6.07 | 2.74 | 2.72 | 4.24 | 4.07 | 4.48 | 4.19 |
| 30/04/05 | 3.41 | 5.95 | 2.55 | 2.31 | 3.55 | 5.97 | 2.82 | 2.62 | 4.18 | 3.93 | 4.20 | 4.00 |
| 01/05/05 | 3.34 | 5.87 | 2.73 | 2.24 | 3.48 | 5.89 | 2.99 | 2.60 | 4.12 | 3.79 | 3.95 | 3.84 |
| 02/05/05 | 3.25 | 5.69 | 2.49 | 2.31 | 3.39 | 5.71 | 2.73 | 2.65 | 4.06 | 3.68 | 3.71 | 3.68 |
| 03/05/05 | 3.16 | 5.54 | 2.30 | 2.23 | 3.30 | 5.56 | 2.53 | 2.55 | 4.01 | 3.58 | 3.49 | 3.53 |
| 04/05/05 | 3.08 | 5.40 | 2.21 | 2.14 | 3.21 | 5.42 | 2.42 | 2.46 | 3.96 | 3.49 | 3.30 | 3.40 |
| 05/05/05 | 3.00 | 5.26 | 2.07 | 2.08 | 3.14 | 5.28 | 2.27 | 2.38 | 3.91 | 3.41 | 3.11 | 3.28 |
| 06/05/05 | 2.93 | 5.11 | 1.94 | 2.03 | 3.06 | 5.13 | 2.13 | 2.31 | 3.87 | 3.33 | 2.95 | 3.16 |
| 07/05/05 | 2.86 | 4.97 | 1.84 | 1.98 | 3.00 | 4.99 | 2.02 | 2.25 | 3.83 | 3.27 | 2.80 | 3.06 |
| 08/05/05 | 2.80 | 4.83 | 1.75 | 1.94 | 2.93 | 4.85 | 1.92 | 2.20 | 3.79 | 3.21 | 2.65 | 2.97 |
| 09/05/05 | 2.74 | 4.70 | 1.68 | 1.91 | 2.87 | 4.72 | 1.84 | 2.16 | 3.75 | 3.15 | 2.52 | 2.89 |
| 10/05/05 | 2.68 | 4.57 | 1.62 | 1.88 | 2.82 | 4.59 | 1.77 | 2.12 | 3.71 | 3.10 | 2.41 | 2.81 |
| 11/05/05 | 2.63 | 4.45 | 1.57 | 1.86 | 2.77 | 4.46 | 1.71 | 2.09 | 3.68 | 3.06 | 2.30 | 2.74 |
| 12/05/05 | 2.58 | 4.33 | 1.56 | 1.84 | 2.72 | 4.35 | 1.69 | 2.06 | 3.65 | 3.02 | 2.20 | 2.68 |
| 13/05/05 | 2.54 | 4.23 | 1.60 | 1.81 | 2.67 | 4.24 | 1.73 | 2.02 | 3.61 | 2.98 | 2.11 | 2.63 |
| 14/05/05 | 2.50 | 4.11 | 1.55 | 1.79 | 2.63 | 4.12 | 1.67 | 1.99 | 3.58 | 2.95 | 2.03 | 2.57 |
| 15/05/05 | 2.46 | 3.99 | 1.51 | 1.82 | 2.59 | 4.01 | 1.62 | 2.01 | 3.55 | 2.93 | 1.95 | 2.53 |
| 16/05/05 | 2.44 | 3.95 | 1.75 | 1.85 | 2.57 | 3.96 | 1.86 | 2.03 | 3.53 | 2.92 | 1.91 | 2.49 |
| 17/05/05 | 2.45 | 3.96 | 2.21 | 1.88 | 2.58 | 3.98 | 2.31 | 2.05 | 3.50 | 2.87 | 1.92 | 2.49 |
| 18/05/05 | 2.42 | 3.87 | 2.18 | 2.08 | 2.55 | 3.88 | 2.27 | 2.25 | 3.47 | 2.84 | 1.87 | 2.45 |
| 19/05/05 | 2.38 | 3.76 | 2.02 | 2.01 | 2.51 | 3.77 | 2.11 | 2.17 | 3.45 | 2.82 | 1.81 | 2.41 |

continúa en la siguiente pagina

Tabla A2 – Continua de la pagina anterior

| Fecha | Semidistribuido: Estación Obrajillo | | | | Semidistribuido: Estación Puente Magdalena | | | | Agrupado: Estación Puente Magdalena | | | |
|----------|-------------------------------------|--------|------|------|--|--------|------|------|-------------------------------------|--------|------|------|
| | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC |
| 20/05/05 | 2.34 | 3.65 | 1.89 | 1.95 | 2.47 | 3.67 | 1.97 | 2.10 | 3.43 | 2.80 | 1.75 | 2.38 |
| 21/05/05 | 2.31 | 3.55 | 1.78 | 1.90 | 2.44 | 3.56 | 1.86 | 2.04 | 3.40 | 2.78 | 1.71 | 2.35 |
| 22/05/05 | 2.28 | 3.45 | 1.69 | 1.86 | 2.41 | 3.46 | 1.77 | 1.99 | 3.38 | 2.77 | 1.66 | 2.32 |
| 23/05/05 | 2.25 | 3.35 | 1.62 | 1.82 | 2.38 | 3.37 | 1.69 | 1.95 | 3.36 | 2.75 | 1.62 | 2.30 |
| 24/05/05 | 2.23 | 3.26 | 1.55 | 1.79 | 2.35 | 3.27 | 1.63 | 1.91 | 3.34 | 2.74 | 1.59 | 2.27 |
| 25/05/05 | 2.20 | 3.17 | 1.50 | 1.76 | 2.33 | 3.18 | 1.57 | 1.88 | 3.32 | 2.73 | 1.56 | 2.25 |
| 26/05/05 | 2.18 | 3.08 | 1.46 | 1.74 | 2.30 | 3.09 | 1.52 | 1.85 | 3.30 | 2.72 | 1.53 | 2.23 |
| 27/05/05 | 2.15 | 2.99 | 1.42 | 1.71 | 2.28 | 3.00 | 1.48 | 1.82 | 3.28 | 2.71 | 1.50 | 2.21 |
| 28/05/05 | 2.13 | 2.90 | 1.39 | 1.70 | 2.25 | 2.91 | 1.45 | 1.80 | 3.26 | 2.70 | 1.48 | 2.20 |
| 29/05/05 | 2.11 | 2.82 | 1.36 | 1.68 | 2.23 | 2.83 | 1.42 | 1.77 | 3.25 | 2.69 | 1.45 | 2.18 |
| 30/05/05 | 2.09 | 2.74 | 1.34 | 1.66 | 2.21 | 2.75 | 1.40 | 1.75 | 3.23 | 2.68 | 1.43 | 2.17 |
| 31/05/05 | 2.07 | 2.66 | 1.32 | 1.65 | 2.19 | 2.67 | 1.38 | 1.74 | 3.21 | 2.67 | 1.41 | 2.16 |
| 01/06/05 | 2.05 | 2.58 | 1.30 | 1.64 | 2.17 | 2.59 | 1.36 | 1.73 | 3.20 | 2.66 | 1.39 | 2.15 |
| 02/06/05 | 2.03 | 2.51 | 1.29 | 1.63 | 2.15 | 2.52 | 1.34 | 1.73 | 3.18 | 2.66 | 1.37 | 2.14 |
| 03/06/05 | 2.01 | 2.44 | 1.27 | 1.62 | 2.13 | 2.45 | 1.32 | 1.71 | 3.17 | 2.65 | 1.36 | 2.13 |
| 04/06/05 | 1.99 | 2.37 | 1.26 | 1.61 | 2.12 | 2.38 | 1.31 | 1.70 | 3.16 | 2.65 | 1.34 | 2.12 |
| 05/06/05 | 1.98 | 2.30 | 1.25 | 1.60 | 2.10 | 2.31 | 1.30 | 1.68 | 3.14 | 2.64 | 1.33 | 2.11 |
| 06/06/05 | 1.96 | 2.24 | 1.24 | 1.59 | 2.08 | 2.25 | 1.29 | 1.67 | 3.13 | 2.63 | 1.32 | 2.10 |
| 07/06/05 | 1.95 | 2.17 | 1.23 | 1.58 | 2.07 | 2.18 | 1.28 | 1.66 | 3.11 | 2.63 | 1.31 | 2.10 |
| 08/06/05 | 1.93 | 2.11 | 1.22 | 1.57 | 2.05 | 2.12 | 1.27 | 1.65 | 3.10 | 2.62 | 1.30 | 2.09 |
| 09/06/05 | 1.92 | 2.05 | 1.21 | 1.56 | 2.04 | 2.06 | 1.26 | 1.63 | 3.09 | 2.62 | 1.29 | 2.08 |
| 10/06/05 | 1.91 | 1.99 | 1.21 | 1.56 | 2.03 | 2.00 | 1.25 | 1.62 | 3.08 | 2.62 | 1.28 | 2.08 |
| 11/06/05 | 1.90 | 1.93 | 1.20 | 1.55 | 2.01 | 1.94 | 1.24 | 1.61 | 3.07 | 2.61 | 1.28 | 2.07 |
| 12/06/05 | 1.88 | 1.88 | 1.19 | 1.54 | 2.00 | 1.88 | 1.23 | 1.60 | 3.06 | 2.61 | 1.27 | 2.07 |
| 13/06/05 | 1.87 | 1.82 | 1.18 | 1.53 | 1.99 | 1.83 | 1.22 | 1.59 | 3.04 | 2.60 | 1.26 | 2.06 |
| 14/06/05 | 1.86 | 1.77 | 1.18 | 1.53 | 1.98 | 1.78 | 1.22 | 1.58 | 3.03 | 2.60 | 1.26 | 2.06 |
| 15/06/05 | 1.85 | 1.72 | 1.17 | 1.52 | 1.97 | 1.72 | 1.21 | 1.57 | 3.02 | 2.60 | 1.25 | 2.06 |
| 16/06/05 | 1.84 | 1.67 | 1.16 | 1.51 | 1.95 | 1.67 | 1.20 | 1.56 | 3.01 | 2.59 | 1.25 | 2.05 |
| 17/06/05 | 1.83 | 1.62 | 1.16 | 1.51 | 1.94 | 1.63 | 1.20 | 1.55 | 3.00 | 2.59 | 1.24 | 2.05 |
| 18/06/05 | 1.82 | 1.57 | 1.15 | 1.50 | 1.93 | 1.58 | 1.19 | 1.54 | 2.99 | 2.59 | 1.24 | 2.05 |
| 19/06/05 | 1.81 | 1.52 | 1.15 | 1.49 | 1.92 | 1.53 | 1.18 | 1.53 | 2.98 | 2.58 | 1.23 | 2.04 |
| 20/06/05 | 1.80 | 1.48 | 1.14 | 1.48 | 1.91 | 1.49 | 1.18 | 1.52 | 2.97 | 2.58 | 1.23 | 2.04 |
| 21/06/05 | 1.79 | 1.43 | 1.13 | 1.48 | 1.91 | 1.44 | 1.17 | 1.52 | 2.97 | 2.58 | 1.23 | 2.04 |
| 22/06/05 | 1.78 | 1.40 | 1.16 | 1.51 | 1.90 | 1.41 | 1.20 | 1.54 | 2.96 | 2.59 | 1.23 | 2.04 |
| 23/06/05 | 1.78 | 1.41 | 1.33 | 1.46 | 1.89 | 1.42 | 1.37 | 1.50 | 2.95 | 2.57 | 1.25 | 2.04 |
| 24/06/05 | 1.77 | 1.37 | 1.29 | 1.51 | 1.88 | 1.38 | 1.33 | 1.54 | 2.94 | 2.57 | 1.24 | 2.04 |
| 25/06/05 | 1.76 | 1.33 | 1.25 | 1.49 | 1.87 | 1.34 | 1.29 | 1.52 | 2.93 | 2.57 | 1.24 | 2.04 |
| 26/06/05 | 1.75 | 1.29 | 1.22 | 1.48 | 1.87 | 1.30 | 1.26 | 1.51 | 2.92 | 2.56 | 1.24 | 2.03 |
| 27/06/05 | 1.75 | 1.25 | 1.20 | 1.47 | 1.86 | 1.26 | 1.23 | 1.49 | 2.92 | 2.56 | 1.23 | 2.03 |
| 28/06/05 | 1.74 | 1.21 | 1.17 | 1.46 | 1.85 | 1.22 | 1.21 | 1.48 | 2.91 | 2.56 | 1.23 | 2.03 |
| 29/06/05 | 1.73 | 1.18 | 1.15 | 1.44 | 1.84 | 1.18 | 1.19 | 1.47 | 2.90 | 2.55 | 1.23 | 2.03 |
| 30/06/05 | 1.73 | 1.14 | 1.14 | 1.44 | 1.84 | 1.15 | 1.17 | 1.46 | 2.89 | 2.55 | 1.23 | 2.02 |
| 01/07/05 | 1.72 | 1.10 | 1.12 | 1.43 | 1.83 | 1.11 | 1.16 | 1.45 | 2.89 | 2.55 | 1.23 | 2.02 |
| 02/07/05 | 1.71 | 1.07 | 1.11 | 1.42 | 1.82 | 1.08 | 1.14 | 1.44 | 2.88 | 2.55 | 1.23 | 2.02 |
| 03/07/05 | 1.71 | 1.04 | 1.10 | 1.41 | 1.82 | 1.04 | 1.13 | 1.43 | 2.87 | 2.54 | 1.23 | 2.02 |
| 04/07/05 | 1.70 | 1.01 | 1.09 | 1.40 | 1.81 | 1.01 | 1.12 | 1.42 | 2.86 | 2.54 | 1.23 | 2.02 |
| 05/07/05 | 1.70 | 0.97 | 1.08 | 1.40 | 1.80 | 0.98 | 1.11 | 1.42 | 2.86 | 2.54 | 1.23 | 2.01 |
| 06/07/05 | 1.69 | 0.96 | 1.11 | 1.40 | 1.80 | 0.96 | 1.14 | 1.42 | 2.85 | 2.54 | 1.23 | 2.01 |
| 07/07/05 | 1.68 | 0.95 | 1.18 | 1.38 | 1.79 | 0.96 | 1.21 | 1.39 | 2.85 | 2.53 | 1.24 | 2.02 |
| 08/07/05 | 1.68 | 0.92 | 1.15 | 1.38 | 1.79 | 0.93 | 1.18 | 1.39 | 2.84 | 2.53 | 1.24 | 2.01 |
| 09/07/05 | 1.67 | 0.90 | 1.13 | 1.37 | 1.78 | 0.90 | 1.16 | 1.39 | 2.83 | 2.53 | 1.24 | 2.01 |
| 10/07/05 | 1.67 | 0.87 | 1.11 | 1.37 | 1.78 | 0.87 | 1.14 | 1.38 | 2.83 | 2.53 | 1.24 | 2.01 |
| 11/07/05 | 1.66 | 0.84 | 1.09 | 1.36 | 1.77 | 0.84 | 1.12 | 1.37 | 2.82 | 2.52 | 1.23 | 2.01 |
| 12/07/05 | 1.66 | 0.81 | 1.07 | 1.35 | 1.76 | 0.82 | 1.10 | 1.36 | 2.82 | 2.52 | 1.23 | 2.01 |
| 13/07/05 | 1.65 | 0.79 | 1.06 | 1.35 | 1.76 | 0.79 | 1.09 | 1.35 | 2.81 | 2.52 | 1.23 | 2.00 |
| 14/07/05 | 1.65 | 0.76 | 1.04 | 1.34 | 1.75 | 0.77 | 1.08 | 1.34 | 2.80 | 2.52 | 1.24 | 2.00 |
| 15/07/05 | 1.65 | 0.74 | 1.03 | 1.33 | 1.75 | 0.74 | 1.07 | 1.34 | 2.80 | 2.51 | 1.24 | 2.00 |
| 16/07/05 | 1.64 | 0.71 | 1.02 | 1.33 | 1.75 | 0.72 | 1.06 | 1.33 | 2.79 | 2.51 | 1.24 | 2.00 |
| 17/07/05 | 1.64 | 0.69 | 1.02 | 1.32 | 1.74 | 0.70 | 1.05 | 1.33 | 2.79 | 2.51 | 1.23 | 2.00 |
| 18/07/05 | 1.63 | 0.68 | 1.03 | 1.31 | 1.74 | 0.68 | 1.06 | 1.32 | 2.78 | 2.51 | 1.23 | 2.00 |
| 19/07/05 | 1.63 | 0.65 | 1.01 | 1.31 | 1.73 | 0.66 | 1.05 | 1.31 | 2.78 | 2.50 | 1.23 | 2.00 |
| 20/07/05 | 1.63 | 0.63 | 1.00 | 1.30 | 1.73 | 0.64 | 1.04 | 1.30 | 2.77 | 2.50 | 1.23 | 1.99 |
| 21/07/05 | 1.62 | 0.61 | 1.00 | 1.29 | 1.72 | 0.62 | 1.03 | 1.30 | 2.77 | 2.50 | 1.23 | 1.99 |
| 22/07/05 | 1.62 | 0.59 | 0.99 | 1.29 | 1.72 | 0.59 | 1.02 | 1.29 | 2.76 | 2.50 | 1.23 | 1.99 |
| 23/07/05 | 1.61 | 0.57 | 0.98 | 1.28 | 1.72 | 0.58 | 1.01 | 1.29 | 2.76 | 2.49 | 1.23 | 1.99 |
| 24/07/05 | 1.61 | 0.55 | 0.97 | 1.28 | 1.71 | 0.56 | 1.00 | 1.28 | 2.75 | 2.49 | 1.23 | 1.99 |
| 25/07/05 | 1.61 | 0.53 | 0.97 | 1.27 | 1.71 | 0.54 | 1.00 | 1.27 | 2.75 | 2.49 | 1.22 | 1.99 |
| 26/07/05 | 1.60 | 0.52 | 0.96 | 1.27 | 1.70 | 0.52 | 0.99 | 1.27 | 2.74 | 2.49 | 1.22 | 1.99 |
| 27/07/05 | 1.60 | 0.50 | 0.95 | 1.26 | 1.70 | 0.50 | 0.99 | 1.26 | 2.74 | 2.48 | 1.22 | 1.98 |
| 28/07/05 | 1.60 | 0.48 | 0.95 | 1.25 | 1.70 | 0.49 | 0.98 | 1.26 | 2.74 | 2.48 | 1.22 | 1.98 |
| 29/07/05 | 1.59 | 0.47 | 0.94 | 1.25 | 1.69 | 0.47 | 0.97 | 1.25 | 2.73 | 2.48 | 1.21 | 1.98 |
| 30/07/05 | 1.59 | 0.45 | 0.94 | 1.24 | 1.69 | 0.45 | 0.97 | 1.24 | 2.73 | 2.48 | 1.21 | 1.98 |
| 31/07/05 | 1.59 | 0.43 | 0.93 | 1.24 | 1.69 | 0.44 | 0.96 | 1.24 | 2.72 | 2.47 | 1.21 | 1.98 |
| 01/08/05 | 1.58 | 0.42 | 0.93 | 1.23 | 1.68 | 0.42 | 0.96 | 1.23 | 2.72 | 2.47 | 1.21 | 1.98 |
| 02/08/05 | 1.58 | 0.40 | 0.92 | 1.23 | 1.68 | 0.41 | 0.95 | 1.23 | 2.72 | 2.47 | 1.21 | 1.98 |
| 03/08/05 | 1.58 | 0.39 | 0.92 | 1.22 | 1.68 | 0.39 | 0.95 | 1.22 | 2.71 | 2.47 | 1.21 | 1.98 |
| 04/08/05 | 1.58 | 0.38 | 0.92 | 1.22 | 1.67 | 0.38 | 0.95 | 1.22 | 2.71 | 2.46 | 1.20 | 1.97 |
| 05/08/05 | 1.57 | 0.36 | 0.92 | 1.22 | 1.67 | 0.37 | 0.95 | 1.22 | 2.70 | 2.46 | 1.20 | 1.97 |
| 06/08/05 | 1.57 | 0.36 | 0.94 | 1.21 | 1.67 | 0.37 | 0.97 | 1.21 | 2.70 | 2.46 | 1.20 | 1.97 |
| 07/08/05 | 1.57 | 0.36 | 0.97 | 1.20 | 1.66 | 0.36 | 1.00 | 1.20 | 2.70 | 2.46 | 1.20 | 1.97 |
| 08/08/05 | 1.57 | 0.35 | 0.95 | 1.20 | 1.66 | 0.35 | 0.98 | 1.20 | 2.69 | 2.45 | 1.20 | 1.97 |
| 09/08/05 | 1.56 | 0.33 | 0.93 | 1.19 | 1.66 | 0.34 | 0.96 | 1.19 | 2.69 | 2.45 | 1.20 | 1.97 |
| 10/08/05 | 1.56 | 0.32 | 0.92 | 1.18 | 1.66 | 0.32 | 0.95 | 1.18 | 2.68 | 2.45 | 1.20 | 1.97 |
| 11/08/05 | 1.56 | 0.31 | 0.91 | 1.18 | 1.65 | 0.31 | 0.94 | 1.18 | 2.68 | 2.45 | 1.19 | 1.97 |
| 12/08/05 | 1.56 | 0.30 | 0.90 | 1.17 | 1.65 | 0.30 | 0.93 | 1.17 | 2.68 | 2.44 | 1.19 | 1.97 |
| 13/08/05 | 1.55 | 0.29 | 0.89 | 1.17 | 1.65 | 0.29 | 0.92 | 1.17 | 2.67 | 2.44 | 1.19 | 1.96 |
| 14/08/05 | 1.55 | 0.27 | 0.88 | 1.16 | 1.65 | 0.28 | 0.91 | 1.16 | 2.67 | 2.44 | 1.19 | 1.96 |
| 15/08/05 | 1.55 | 0.26 | 0.88 | 1.16 | 1.64 | 0.27 | 0.91 | 1.16 | 2.67 | 2.44 | 1.19 | 1.96 |
| 16/08/05 | 1.55 | 0.25 | 0.87 | 1.15 | 1.64 | 0.26 | 0.90 | 1.15 | 2.66 | 2.44 | 1.19 | 1.96 |

continúa en la siguiente pagina

Tabla A2 – Continua de la pagina anterior

| Caudal [m3/s] | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|--------|------|------|--|--------|------|------|-------------------------------------|--------|------|------|
| Semidistribuido: Estación Obrajillo | | | | | Semidistribuido: Estación Puente Magdalena | | | | Agrupado: Estación Puente Magdalena | | | |
| Fecha | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC | GR4J | SOCONT | HBV | SAC |
| 17/08/05 | 1.54 | 0.24 | 0.86 | 1.15 | 1.64 | 0.25 | 0.89 | 1.15 | 2.66 | 2.43 | 1.20 | 1.96 |
| 18/08/05 | 1.54 | 0.23 | 0.86 | 1.14 | 1.64 | 0.24 | 0.89 | 1.14 | 2.66 | 2.43 | 1.20 | 1.96 |
| 19/08/05 | 1.54 | 0.22 | 0.85 | 1.14 | 1.63 | 0.23 | 0.88 | 1.14 | 2.65 | 2.43 | 1.20 | 1.96 |
| 20/08/05 | 1.54 | 0.21 | 0.85 | 1.20 | 1.63 | 0.22 | 0.88 | 1.20 | 2.65 | 2.44 | 1.20 | 1.96 |
| 21/08/05 | 1.54 | 0.30 | 1.05 | 1.13 | 1.63 | 0.31 | 1.08 | 1.13 | 2.65 | 2.42 | 1.22 | 1.97 |
| 22/08/05 | 1.53 | 0.29 | 1.01 | 1.24 | 1.63 | 0.29 | 1.04 | 1.24 | 2.64 | 2.42 | 1.22 | 1.96 |
| 23/08/05 | 1.53 | 0.28 | 0.97 | 1.22 | 1.62 | 0.28 | 1.00 | 1.22 | 2.64 | 2.42 | 1.22 | 1.96 |
| 24/08/05 | 1.53 | 0.27 | 0.94 | 1.20 | 1.62 | 0.27 | 0.97 | 1.20 | 2.64 | 2.42 | 1.22 | 1.96 |
| 25/08/05 | 1.53 | 0.26 | 0.92 | 1.18 | 1.62 | 0.26 | 0.95 | 1.18 | 2.64 | 2.41 | 1.21 | 1.96 |
| 26/08/05 | 1.53 | 0.25 | 0.90 | 1.33 | 1.62 | 0.25 | 0.93 | 1.33 | 2.63 | 2.47 | 1.21 | 1.96 |
| 27/08/05 | 1.53 | 0.50 | 1.40 | 1.36 | 1.62 | 0.50 | 1.43 | 1.36 | 2.63 | 2.42 | 1.32 | 2.00 |
| 28/08/05 | 1.52 | 0.55 | 1.43 | 1.65 | 1.62 | 0.55 | 1.46 | 1.65 | 2.63 | 2.41 | 1.32 | 2.00 |
| 29/08/05 | 1.52 | 0.52 | 1.32 | 1.57 | 1.61 | 0.53 | 1.35 | 1.57 | 2.62 | 2.40 | 1.31 | 1.99 |
| 30/08/05 | 1.52 | 0.50 | 1.22 | 1.49 | 1.61 | 0.50 | 1.25 | 1.49 | 2.62 | 2.40 | 1.30 | 1.98 |
| 31/08/05 | 1.52 | 0.48 | 1.14 | 1.42 | 1.61 | 0.48 | 1.17 | 1.42 | 2.62 | 2.40 | 1.29 | 1.98 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla A3

| Modelo GR4J agrupado | | | | | | | | | | | | | | Modelo SOCONT agrupado | | | | | | | | | | | | | | Caudal [m3/s] |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------------------|
| Fecha | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | | |
| Sep-04 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.26 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | | |
| Oct-04 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.08 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | | |
| Nov-04 | 0.39 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.53 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.09 | 0.19 | 0.35 | 0.14 | 0.12 | 0.16 | | |
| Dic-04 | 0.43 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.16 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | 0.53 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.09 | 0.19 | 0.35 | 0.14 | 0.12 | 0.16 | | |
| Ene-05 | 0.50 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.20 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 0.33 | 0.13 | 0.12 | 0.16 | 0.62 | 0.13 | 0.20 | 0.10 | 0.09 | 0.24 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.41 | 0.16 | 0.14 | 0.19 | | |
| Feb-05 | 0.55 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.22 | 0.15 | 0.10 | 0.20 | 0.36 | 0.15 | 0.13 | 0.17 | 0.79 | 0.17 | 0.26 | 0.13 | 0.12 | 0.31 | 0.21 | 0.14 | 0.29 | 0.52 | 0.21 | 0.18 | 0.24 | | |
| Mar-05 | 0.65 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.10 | 0.25 | 0.17 | 0.12 | 0.24 | 0.43 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | 1.32 | 0.28 | 0.43 | 0.22 | 0.20 | 0.51 | 0.35 | 0.24 | 0.48 | 0.87 | 0.35 | 0.30 | 0.41 | | |
| Abr-05 | 0.64 | 0.13 | 0.21 | 0.11 | 0.10 | 0.25 | 0.17 | 0.12 | 0.23 | 0.43 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | 1.20 | 0.25 | 0.39 | 0.20 | 0.18 | 0.47 | 0.32 | 0.22 | 0.44 | 0.80 | 0.32 | 0.28 | 0.37 | | |
| May-05 | 0.43 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.13 | 0.27 | 0.06 | 0.09 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | | |
| Jun-05 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.15 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.10 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | | |
| Jul-05 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.15 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | | |
| Ago-05 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.15 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | | |
| Sep-05 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.11 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.11 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | |
| Oct-05 | 0.31 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.08 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | | |
| Nov-05 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | |
| Dic-05 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.57 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.22 | 0.15 | 0.10 | 0.28 | 0.15 | 0.13 | 0.18 | 0.18 | | |
| Ene-06 | 0.46 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.17 | 0.30 | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.77 | 0.16 | 0.25 | 0.13 | 0.11 | 0.30 | 0.20 | 0.14 | 0.28 | 0.51 | 0.20 | 0.18 | 0.24 | | |
| Feb-06 | 0.95 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.37 | 0.25 | 0.17 | 0.35 | 0.63 | 0.25 | 0.22 | 0.29 | 1.66 | 0.35 | 0.54 | 0.28 | 0.25 | 0.65 | 0.44 | 0.30 | 0.61 | 1.10 | 0.44 | 0.38 | 0.51 | | |
| Mar-06 | 1.43 | 0.30 | 0.46 | 0.24 | 0.21 | 0.56 | 0.38 | 0.26 | 0.52 | 0.95 | 0.38 | 0.33 | 0.44 | 2.15 | 0.45 | 0.70 | 0.36 | 0.32 | 0.84 | 0.58 | 0.39 | 0.68 | 1.43 | 0.57 | 0.50 | 0.66 | | |
| Abr-06 | 1.28 | 0.27 | 0.42 | 0.24 | 0.21 | 0.50 | 0.34 | 0.23 | 0.47 | 0.85 | 0.34 | 0.30 | 0.40 | 1.76 | 0.37 | 0.57 | 0.29 | 0.26 | 0.69 | 0.47 | 0.32 | 0.74 | 1.17 | 0.47 | 0.41 | 0.54 | | |
| May-06 | 0.67 | 0.14 | 0.22 | 0.11 | 0.10 | 0.26 | 0.18 | 0.12 | 0.24 | 0.44 | 0.18 | 0.15 | 0.21 | 0.50 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.20 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 0.33 | 0.13 | 0.12 | 0.16 | | |
| Jun-06 | 0.54 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.10 | 0.20 | 0.36 | 0.14 | 0.12 | 0.17 | 0.29 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | | |
| Jul-06 | 0.47 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.09 | 0.17 | 0.31 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.27 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | | |
| Ago-06 | 0.42 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.15 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | 0.27 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | | |
| Sep-06 | 0.39 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | | |
| Oct-06 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.22 | 0.05 | 0.07 | 0.04 | 0.03 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 0.08 | 0.15 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | | |
| Nov-06 | 0.38 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.11 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | | |
| Dic-06 | 0.40 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.15 | 0.11 | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.11 | 0.09 | 0.12 | 0.61 | 0.13 | 0.20 | 0.10 | 0.09 | 0.24 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.40 | 0.16 | 0.14 | 0.19 | | |
| Ene-07 | 0.86 | 0.18 | 0.28 | 0.14 | 0.13 | 0.34 | 0.23 | 0.15 | 0.31 | 0.57 | 0.23 | 0.20 | 0.27 | 1.28 | 0.27 | 0.42 | 0.21 | 0.19 | 0.50 | 0.34 | 0.20 | 0.47 | 0.85 | 0.34 | 0.30 | 0.40 | | |
| Feb-07 | 0.90 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.33 | 0.59 | 0.24 | 0.21 | 0.28 | 1.11 | 0.23 | 0.36 | 0.19 | 0.17 | 0.44 | 0.20 | 0.41 | 0.74 | 0.30 | 0.26 | 0.34 | 0.40 | | |
| Mar-07 | 1.54 | 0.32 | 0.50 | 0.26 | 0.23 | 0.60 | 0.41 | 0.28 | 0.56 | 1.02 | 0.41 | 0.35 | 0.48 | 2.05 | 0.43 | 0.66 | 0.34 | 0.31 | 0.80 | 0.55 | 0.37 | 0.63 | 1.36 | 0.55 | 0.47 | 0.53 | | |
| Abr-07 | 1.29 | 0.27 | 0.42 | 0.21 | 0.19 | 0.50 | 0.34 | 0.23 | 0.47 | 0.85 | 0.34 | 0.30 | 0.40 | 1.73 | 0.36 | 0.56 | 0.29 | 0.26 | 0.68 | 0.46 | 0.31 | 0.75 | 1.14 | 0.46 | 0.40 | 0.53 | | |
| May-07 | 0.69 | 0.15 | 0.22 | 0.12 | 0.10 | 0.27 | 0.19 | 0.12 | 0.25 | 0.46 | 0.18 | 0.16 | 0.21 | 0.64 | 0.13 | 0.21 | 0.11 | 0.09 | 0.25 | 0.17 | 0.11 | 0.23 | 0.42 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | | |
| Jun-07 | 0.57 | 0.12 | 0.18 | 0.10 | 0.08 | 0.22 | 0.15 | 0.10 | 0.21 | 0.38 | 0.15 | 0.13 | 0.18 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | | |
| Jul-07 | 0.50 | 0.10 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 0.33 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | | |
| Ago-07 | 0.44 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.07 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.12 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | | |
| Sep-07 | 0.40 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.15 | 0.27 | 0.11 | 0.09 | 0.12 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | | |
| Oct-07 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | | |
| Nov-07 | 0.38 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | | |
| Dic-07 | 0.38 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | | |
| Ene-08 | 0.60 | 0.13 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.39 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 1.17 | 0.25 | 0.38 | 0.20 | 0.17 | 0.46 | 0.31 | 0.21 | 0.43 | 0.78 | 0.31 | 0.27 | 0.36 | | |
| Feb-08 | 1.19 | 0.25 | 0.38 | 0.20 | 0.18 | 0.46 | 0.32 | 0.21 | 0.43 | 0.79 | 0.32 | 0.27 | 0.37 | 1.68 | 0.35 | 0.54 | 0.28 | 0.25 | 0.66 | 0.45 | 0.30 | 0.61 | 1.12 | 0.45 | 0.39 | 0.52 | | |
| Mar-08 | 1.57 | 0.33 | 0.51 | 0.26 | 0.23 | 0.62 | 0.42 | 0.28 | 0.57 | 1.04 | 0.42 | 0.36 | 0.49 | 2.10 | 0.44 | 0.68 | 0.35 | 0.31 | 0.82 | 0.56 | 0.38 | 0.76 | 1.39 | 0.56 | 0.48 | 0.65 | | |
| Abr-08 | 1.25 | 0.26 | 0.40 | 0.21 | 0.19 | 0.49 | 0.33 | 0.22 | 0.45 | 0.83 | 0.33 | 0.29 | 0.39 | 1.68 | 0.35 | 0.54 | 0.28 | 0.25 | 0.66 | 0.45 | 0.30 | 0.61 | 1.12 | 0.45 | 0.39 | 0.52 | | |
| May-08 | 0.69 | 0.14 | 0.22 | 0.12 | 0.10 | 0.27 | 0.18 | 0.12 | 0.25 | 0.46 | 0.18 | 0.16 | 0.21 | 0.57 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.22 | 0.15 | 0.10 | 0.21 | 0.38 | 0.15 | 0.13 | 0.18 | | |
| Jun-08 | 0.58 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.15 | 0.10 | 0.21 | 0.38 | 0.15 | 0.13 | 0.18 | 0.43 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.16 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | | |
| continúa en la siguiente página | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A3 – Continua de la pagina anterior

| Fecha | Modelo GR4J agrupado | | | | | | | | | | | | | Modelo SOCONT agrupado | | | | | | | | | | | | | Caudal [m³/s] |
|--------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | |
| Nov-12 | 0.42 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.15 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | 0.54 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.10 | 0.20 | 0.36 | 0.14 | 0.12 | 0.17 | |
| Dic-12 | 0.44 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.13 | 0.65 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.10 | 0.25 | 0.17 | 0.12 | 0.24 | 0.43 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | |
| Ene-13 | 0.47 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.13 | 0.08 | 0.17 | 0.31 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.42 | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.15 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | |
| Feb-13 | 0.80 | 0.17 | 0.26 | 0.13 | 0.12 | 0.31 | 0.21 | 0.14 | 0.29 | 0.53 | 0.21 | 0.18 | 0.25 | 1.65 | 0.35 | 0.53 | 0.28 | 0.25 | 0.65 | 0.44 | 0.30 | 0.60 | 1.09 | 0.44 | 0.38 | 0.51 | |
| Mar-13 | 1.79 | 0.38 | 0.58 | 0.30 | 0.27 | 0.70 | 0.48 | 0.32 | 0.65 | 1.19 | 0.48 | 0.41 | 0.55 | 2.35 | 0.49 | 0.76 | 0.39 | 0.35 | 0.92 | 0.63 | 0.42 | 0.86 | 1.56 | 0.63 | 0.54 | 0.73 | |
| Abr-13 | 0.89 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.32 | 0.59 | 0.24 | 0.20 | 0.27 | 1.12 | 0.23 | 0.36 | 0.19 | 0.17 | 0.44 | 0.30 | 0.20 | 0.41 | 0.74 | 0.30 | 0.26 | 0.35 | |
| May-13 | 0.59 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.39 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.64 | 0.13 | 0.21 | 0.11 | 0.09 | 0.25 | 0.17 | 0.11 | 0.23 | 0.42 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | |
| Jun-13 | 0.51 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.08 | 0.20 | 0.14 | 0.09 | 0.18 | 0.34 | 0.14 | 0.12 | 0.16 | 0.50 | 0.10 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 0.33 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | |
| Jul-13 | 0.45 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.30 | 0.12 | 0.10 | 0.14 | 0.42 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.15 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | |
| Ago-13 | 0.41 | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.15 | 0.27 | 0.11 | 0.09 | 0.13 | 0.40 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.15 | 0.27 | 0.11 | 0.09 | 0.12 | |
| Set-13 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | |
| Oct-13 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.44 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.13 | |
| Nov-13 | 0.39 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.47 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.13 | 0.08 | 0.17 | 0.31 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | |
| Dic-13 | 0.54 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.10 | 0.19 | 0.35 | 0.14 | 0.12 | 0.17 | 0.76 | 0.16 | 0.25 | 0.13 | 0.11 | 0.30 | 0.20 | 0.14 | 0.28 | 0.50 | 0.20 | 0.18 | 0.24 | |
| Ene-14 | 0.59 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.39 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.95 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.37 | 0.25 | 0.17 | 0.35 | 0.63 | 0.25 | 0.22 | 0.29 | |
| Feb-14 | 0.54 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.14 | 0.10 | 0.20 | 0.36 | 0.14 | 0.12 | 0.17 | 0.80 | 0.17 | 0.26 | 0.13 | 0.12 | 0.31 | 0.21 | 0.14 | 0.29 | 0.53 | 0.21 | 0.18 | 0.25 | |

fuente: Elaboración Propia

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A4
Descargas generadas por subcuenca modelos agrupados HBV y SAC-SMA

| Modelo HBV agrupado | | | | | | | | | | | | | | Modelo SAC-SMA agrupado | | | | | | | | | | | | | | Caudal [m3/s] |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------------------|
| Fecha | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | | |
| Set-04 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.23 | 0.07 | 0.08 | 0.11 | | |
| Oct-04 | 0.39 | 0.08 | 0.13 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.42 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.05 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.28 | 0.10 | 0.10 | 0.13 | | |
| Nov-04 | 0.77 | 0.16 | 0.25 | 0.13 | 0.11 | 0.30 | 0.21 | 0.14 | 0.28 | 0.51 | 0.20 | 0.18 | 0.24 | 0.84 | 0.18 | 0.28 | 0.14 | 0.12 | 0.33 | 0.22 | 0.15 | 0.15 | 0.56 | 0.20 | 0.19 | 0.26 | | |
| Dic-04 | 0.83 | 0.17 | 0.27 | 0.14 | 0.12 | 0.32 | 0.22 | 0.15 | 0.30 | 0.55 | 0.22 | 0.19 | 0.26 | 0.88 | 0.18 | 0.28 | 0.15 | 0.13 | 0.34 | 0.24 | 0.16 | 0.16 | 0.58 | 0.22 | 0.20 | 0.27 | | |
| Ene-05 | 0.95 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.37 | 0.25 | 0.17 | 0.35 | 0.63 | 0.25 | 0.22 | 0.29 | 0.99 | 0.21 | 0.32 | 0.17 | 0.15 | 0.39 | 0.27 | 0.18 | 0.18 | 0.66 | 0.25 | 0.23 | 0.31 | | |
| Feb-05 | 0.95 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.37 | 0.25 | 0.17 | 0.34 | 0.63 | 0.25 | 0.22 | 0.29 | 0.97 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.38 | 0.26 | 0.18 | 0.18 | 0.64 | 0.25 | 0.22 | 0.30 | | |
| Mar-05 | 1.14 | 0.24 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.45 | 0.31 | 0.21 | 0.42 | 0.76 | 0.30 | 0.26 | 0.35 | 1.16 | 0.24 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.45 | 0.31 | 0.21 | 0.21 | 0.77 | 0.30 | 0.27 | 0.36 | | |
| Abr-05 | 1.00 | 0.21 | 0.32 | 0.17 | 0.15 | 0.39 | 0.27 | 0.18 | 0.36 | 0.66 | 0.27 | 0.23 | 0.31 | 0.88 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.16 | 0.59 | 0.27 | 0.20 | 0.27 | | |
| May-05 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.24 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | | |
| Jun-05 | 0.25 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | | |
| Jul-05 | 0.24 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 0.09 | 0.16 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.31 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | | |
| Ago-05 | 0.24 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 0.09 | 0.16 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | | |
| Set-05 | 0.24 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.09 | 0.16 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | | |
| Oct-05 | 0.25 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | | |
| Nov-05 | 0.26 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | | |
| Dic-05 | 0.52 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.20 | 0.14 | 0.09 | 0.19 | 0.34 | 0.14 | 0.12 | 0.16 | 0.71 | 0.15 | 0.23 | 0.12 | 0.10 | 0.28 | 0.19 | 0.13 | 0.13 | 0.47 | 0.14 | 0.16 | 0.22 | | |
| Ene-06 | 0.89 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.32 | 0.59 | 0.24 | 0.20 | 0.27 | 1.09 | 0.23 | 0.35 | 0.18 | 0.16 | 0.43 | 0.29 | 0.20 | 0.20 | 0.72 | 0.24 | 0.25 | 0.34 | | |
| Feb-06 | 1.86 | 0.39 | 0.60 | 0.31 | 0.28 | 0.73 | 0.50 | 0.34 | 0.68 | 1.23 | 0.50 | 0.43 | 0.58 | 2.02 | 0.42 | 0.65 | 0.34 | 0.30 | 0.79 | 0.54 | 0.36 | 1.34 | 0.50 | 0.47 | 0.62 | 0.85 | | |
| Mar-06 | 2.19 | 0.46 | 0.71 | 0.37 | 0.33 | 0.86 | 0.59 | 0.39 | 0.80 | 1.45 | 0.58 | 0.50 | 0.68 | 2.12 | 0.44 | 0.69 | 0.35 | 0.32 | 0.83 | 0.57 | 0.38 | 1.38 | 0.49 | 0.58 | 0.49 | 0.65 | | |
| Abr-06 | 1.69 | 0.36 | 0.55 | 0.28 | 0.25 | 0.66 | 0.45 | 0.30 | 0.62 | 1.12 | 0.45 | 0.39 | 0.52 | 1.43 | 0.30 | 0.46 | 0.24 | 0.21 | 0.56 | 0.38 | 0.26 | 0.94 | 0.45 | 0.33 | 0.44 | 0.44 | | |
| May-06 | 0.44 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.07 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.14 | 0.43 | 0.09 | 0.11 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.28 | 0.12 | 0.10 | 0.13 | | |
| Jun-06 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.22 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | | |
| Jul-06 | 0.27 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | | |
| Ago-06 | 0.27 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | | |
| Set-06 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | | |
| Oct-06 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | | |
| Nov-06 | 0.45 | 0.09 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.30 | 0.12 | 0.10 | 0.14 | 0.43 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.13 | | |
| Dic-06 | 0.63 | 0.13 | 0.20 | 0.10 | 0.09 | 0.25 | 0.17 | 0.11 | 0.23 | 0.42 | 0.17 | 0.14 | 0.19 | 0.65 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.10 | 0.25 | 0.17 | 0.12 | 0.12 | 0.43 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | | |
| Ene-07 | 1.50 | 0.31 | 0.48 | 0.25 | 0.22 | 0.59 | 0.40 | 0.27 | 0.54 | 0.99 | 0.40 | 0.34 | 0.46 | 1.57 | 0.33 | 0.51 | 0.26 | 0.23 | 0.61 | 0.42 | 0.28 | 1.04 | 0.40 | 0.36 | 0.48 | 0.48 | | |
| Feb-07 | 1.24 | 0.26 | 0.40 | 0.21 | 0.18 | 0.49 | 0.33 | 0.22 | 0.45 | 0.82 | 0.33 | 0.29 | 0.38 | 1.21 | 0.25 | 0.39 | 0.20 | 0.18 | 0.47 | 0.32 | 0.22 | 0.80 | 0.33 | 0.28 | 0.37 | 0.37 | | |
| Mar-07 | 1.99 | 0.42 | 0.65 | 0.33 | 0.30 | 0.78 | 0.53 | 0.36 | 0.73 | 1.32 | 0.53 | 0.46 | 0.62 | 1.96 | 0.41 | 0.63 | 0.33 | 0.29 | 0.77 | 0.52 | 0.35 | 1.30 | 0.53 | 0.45 | 0.61 | 0.61 | | |
| Abr-07 | 1.50 | 0.31 | 0.49 | 0.25 | 0.22 | 0.59 | 0.40 | 0.27 | 0.55 | 0.99 | 0.40 | 0.35 | 0.46 | 1.24 | 0.26 | 0.40 | 0.21 | 0.18 | 0.49 | 0.33 | 0.22 | 0.82 | 0.40 | 0.29 | 0.38 | 0.38 | | |
| May-07 | 0.47 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.13 | 0.08 | 0.17 | 0.31 | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.41 | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | 0.12 | 0.09 | 0.13 | | |
| Jun-07 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.22 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | | |
| Jul-07 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | | |
| Ago-07 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.31 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.20 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | | |
| Set-07 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.19 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | | |
| Oct-07 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | | |
| Nov-07 | 0.42 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.08 | 0.15 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | 0.42 | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.07 | 0.28 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | | |
| Dic-07 | 0.46 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.17 | 0.30 | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.45 | 0.09 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.30 | 0.12 | 0.10 | 0.14 | | |
| Ene-08 | 1.09 | 0.23 | 0.35 | 0.18 | 0.16 | 0.43 | 0.29 | 0.20 | 0.40 | 0.72 | 0.29 | 0.25 | 0.34 | 1.17 | 0.24 | 0.38 | 0.19 | 0.17 | 0.46 | 0.31 | 0.21 | 0.21 | 0.77 | 0.29 | 0.27 | 0.36 | | |
| Feb-08 | 1.66 | 0.35 | 0.54 | 0.28 | 0.25 | 0.65 | 0.44 | 0.30 | 0.60 | 1.10 | 0.44 | 0.38 | 0.51 | 1.77 | 0.37 | 0.57 | 0.30 | 0.26 | 0.69 | 0.47 | 0.32 | 0.32 | 1.17 | 0.44 | 0.41 | 0.55 | | |
| Mar-08 | 2.02 | 0.42 | 0.65 | 0.34 | 0.30 | 0.79 | 0.54 | 0.36 | 0.74 | 1.34 | 0.54 | 0.47 | 0.63 | 1.94 | 0.41 | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A4 – Continúa de la página anterior

| Fecha | Modelo HBV agrupado | | | | | | | | | | | | | Modelo SAC-SMA agrupado | | | | | | | | | | | | | Caudal [m3/s] |
|--------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | |
| Jul-08 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | |
| Ago-08 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.11 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.31 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | |
| Set-08 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | |
| Oct-08 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.22 | 0.10 | 0.08 | 0.10 | |
| Nov-08 | 0.48 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.09 | 0.17 | 0.32 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.39 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.15 | 0.11 | 0.07 | 0.07 | 0.26 | 0.13 | 0.09 | 0.12 | |
| Dic-08 | 0.63 | 0.13 | 0.20 | 0.11 | 0.09 | 0.25 | 0.17 | 0.11 | 0.23 | 0.42 | 0.17 | 0.15 | 0.20 | 0.62 | 0.13 | 0.20 | 0.10 | 0.09 | 0.24 | 0.17 | 0.11 | 0.11 | 0.41 | 0.17 | 0.14 | 0.19 | |
| Ene-09 | 1.42 | 0.30 | 0.46 | 0.24 | 0.21 | 0.56 | 0.38 | 0.26 | 0.52 | 0.94 | 0.38 | 0.33 | 0.44 | 1.58 | 0.33 | 0.51 | 0.26 | 0.23 | 0.62 | 0.42 | 0.28 | 0.28 | 1.05 | 0.38 | 0.36 | 0.49 | |
| Feb-09 | 2.69 | 0.56 | 0.87 | 0.45 | 0.40 | 1.05 | 0.72 | 0.48 | 0.98 | 1.78 | 0.72 | 0.62 | 0.83 | 2.71 | 0.57 | 0.88 | 0.45 | 0.40 | 1.06 | 0.73 | 0.49 | 0.49 | 1.80 | 0.72 | 0.63 | 0.84 | |
| Mar-09 | 2.96 | 0.62 | 0.96 | 0.49 | 0.44 | 1.16 | 0.79 | 0.53 | 1.08 | 1.96 | 0.79 | 0.68 | 0.91 | 2.70 | 0.57 | 0.87 | 0.45 | 0.40 | 1.06 | 0.72 | 0.49 | 0.49 | 1.79 | 0.79 | 0.62 | 0.84 | |
| Abr-09 | 1.72 | 0.36 | 0.56 | 0.29 | 0.26 | 0.67 | 0.46 | 0.31 | 0.63 | 1.14 | 0.46 | 0.40 | 0.53 | 1.42 | 0.30 | 0.46 | 0.24 | 0.21 | 0.56 | 0.38 | 0.26 | 0.26 | 0.94 | 0.46 | 0.33 | 0.44 | |
| May-09 | 0.51 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.08 | 0.20 | 0.14 | 0.09 | 0.18 | 0.34 | 0.14 | 0.12 | 0.16 | 0.45 | 0.09 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.30 | 0.14 | 0.10 | 0.14 | |
| Jun-09 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.36 | 0.07 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.06 | 0.24 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | |
| Jul-09 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | |
| Ago-09 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | |
| Set-09 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | |
| Oct-09 | 0.59 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.39 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.59 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.11 | 0.39 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | |
| Nov-09 | 0.97 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.38 | 0.26 | 0.17 | 0.35 | 0.64 | 0.26 | 0.22 | 0.30 | 0.89 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.16 | 0.59 | 0.26 | 0.21 | 0.28 | |
| Dic-09 | 1.04 | 0.22 | 0.33 | 0.17 | 0.15 | 0.41 | 0.28 | 0.19 | 0.38 | 0.69 | 0.28 | 0.24 | 0.32 | 0.99 | 0.21 | 0.32 | 0.17 | 0.15 | 0.39 | 0.27 | 0.18 | 0.18 | 0.66 | 0.28 | 0.23 | 0.31 | |
| Ene-10 | 1.18 | 0.25 | 0.38 | 0.20 | 0.18 | 0.46 | 0.32 | 0.21 | 0.43 | 0.78 | 0.32 | 0.27 | 0.37 | 1.14 | 0.24 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.45 | 0.30 | 0.20 | 0.20 | 0.75 | 0.32 | 0.26 | 0.35 | |
| Feb-10 | 0.97 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.38 | 0.26 | 0.17 | 0.35 | 0.64 | 0.26 | 0.22 | 0.30 | 0.88 | 0.18 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.34 | 0.24 | 0.16 | 0.16 | 0.58 | 0.26 | 0.20 | 0.27 | |
| Mar-10 | 1.62 | 0.34 | 0.52 | 0.27 | 0.24 | 0.63 | 0.43 | 0.29 | 0.59 | 1.07 | 0.43 | 0.37 | 0.50 | 1.50 | 0.32 | 0.49 | 0.25 | 0.22 | 0.59 | 0.40 | 0.27 | 0.27 | 1.00 | 0.43 | 0.35 | 0.46 | |
| Abr-10 | 1.08 | 0.23 | 0.35 | 0.18 | 0.16 | 0.42 | 0.29 | 0.19 | 0.39 | 0.72 | 0.29 | 0.25 | 0.34 | 0.87 | 0.18 | 0.28 | 0.15 | 0.13 | 0.34 | 0.23 | 0.16 | 0.16 | 0.57 | 0.29 | 0.20 | 0.27 | |
| May-10 | 0.48 | 0.10 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 0.32 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.15 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.13 | 0.09 | 0.12 | |
| Jun-10 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | |
| Jul-10 | 0.33 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.31 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | |
| Ago-10 | 0.32 | 0.07 | 0.11 | 0.05 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | |
| Set-10 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.31 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.20 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | |
| Oct-10 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.10 | 0.07 | 0.09 | |
| Nov-10 | 0.47 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.17 | 0.31 | 0.12 | 0.11 | 0.14 | 0.43 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.17 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.28 | 0.12 | 0.10 | 0.13 | |
| Dic-10 | 0.77 | 0.16 | 0.25 | 0.13 | 0.11 | 0.30 | 0.20 | 0.14 | 0.28 | 0.51 | 0.20 | 0.18 | 0.24 | 0.72 | 0.15 | 0.23 | 0.12 | 0.11 | 0.28 | 0.19 | 0.13 | 0.13 | 0.48 | 0.20 | 0.17 | 0.22 | |
| Ene-11 | 1.21 | 0.25 | 0.39 | 0.20 | 0.18 | 0.47 | 0.32 | 0.22 | 0.44 | 0.80 | 0.32 | 0.28 | 0.37 | 1.16 | 0.24 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.45 | 0.31 | 0.21 | 0.21 | 0.77 | 0.32 | 0.27 | 0.36 | |
| Feb-11 | 1.33 | 0.28 | 0.43 | 0.22 | 0.20 | 0.52 | 0.36 | 0.24 | 0.48 | 0.88 | 0.35 | 0.31 | 0.41 | 1.18 | 0.25 | 0.38 | 0.20 | 0.18 | 0.46 | 0.32 | 0.21 | 0.21 | 0.78 | 0.35 | 0.27 | 0.37 | |
| Mar-11 | 1.22 | 0.26 | 0.40 | 0.20 | 0.18 | 0.48 | 0.33 | 0.22 | 0.44 | 0.81 | 0.33 | 0.28 | 0.38 | 1.09 | 0.23 | 0.35 | 0.18 | 0.16 | 0.43 | 0.29 | 0.20 | 0.20 | 0.72 | 0.33 | 0.25 | 0.34 | |
| Abr-11 | 1.37 | 0.29 | 0.44 | 0.23 | 0.20 | 0.54 | 0.37 | 0.25 | 0.50 | 0.91 | 0.37 | 0.32 | 0.42 | 1.15 | 0.24 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.45 | 0.31 | 0.21 | 0.21 | 0.76 | 0.37 | 0.26 | 0.36 | |
| May-11 | 0.59 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.39 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.47 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.31 | 0.16 | 0.11 | 0.14 | |
| Jun-11 | 0.36 | 0.07 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.24 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.31 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.20 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | |
| Jul-11 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.29 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | |
| Ago-11 | 0.34 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.12 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | |
| Set-11 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | |
| Oct-11 | 0.35 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.27 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.18 | 0.09 | 0.06 | 0.08 | |
| Nov-11 | 0.56 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.22 | 0.15 | 0.10 | 0.21 | 0.37 | 0.15 | 0.13 | 0.17 | 0.51 | 0.11 | 0.16 | 0.09 | 0.08 | 0.20 | 0.14 | 0.09 | 0.09 | 0.34 | 0.15 | 0.12 | 0.16 | |
| Dic-11 | 1.08 | 0.23 | 0.35 | 0.18 | 0.16 | 0.42 | 0.29 | 0.19 | 0.39 | 0.72 | 0.29 | 0.25 | 0.33 | 1.06 | 0.22 | 0.34 | 0.18 | 0.16 | 0.41 | 0.28 | 0.19 | 0.19 | 0.70 | 0.29 | 0.24 | 0.33 | |
| Ene-12 | </ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A4 – Continúa de la página anterior

| | | Caudal [m3/s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Modelo HBV agrupado | | | | | | | | | | Modelo SAC-SMA agrupado | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha | | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 |
| Nov-12 | 0.67 | 0.14 | 0.22 | 0.11 | 0.10 | 0.26 | 0.18 | 0.12 | 0.25 | 0.45 | 0.18 | 0.16 | 0.21 | 0.21 | 0.51 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.08 | 0.20 | 0.14 | 0.09 | 0.09 | 0.34 | 0.18 | 0.12 | 0.16 |
| Dic-12 | 0.73 | 0.15 | 0.24 | 0.12 | 0.11 | 0.28 | 0.19 | 0.13 | 0.26 | 0.48 | 0.19 | 0.17 | 0.22 | 0.24 | 0.64 | 0.13 | 0.21 | 0.11 | 0.09 | 0.25 | 0.17 | 0.11 | 0.11 | 0.42 | 0.19 | 0.15 | 0.20 |
| Ene-13 | 0.77 | 0.16 | 0.25 | 0.13 | 0.11 | 0.30 | 0.21 | 0.14 | 0.28 | 0.51 | 0.20 | 0.18 | 0.24 | 0.24 | 0.58 | 0.12 | 0.19 | 0.10 | 0.09 | 0.23 | 0.16 | 0.10 | 0.10 | 0.39 | 0.20 | 0.13 | 0.18 |
| Feb-13 | 1.43 | 0.30 | 0.46 | 0.24 | 0.21 | 0.56 | 0.38 | 0.26 | 0.52 | 0.95 | 0.38 | 0.33 | 0.44 | 0.44 | 1.45 | 0.30 | 0.47 | 0.24 | 0.22 | 0.57 | 0.39 | 0.26 | 0.26 | 0.96 | 0.38 | 0.33 | 0.45 |
| Mar-13 | 2.66 | 0.56 | 0.86 | 0.44 | 0.40 | 1.04 | 0.71 | 0.48 | 0.97 | 1.76 | 0.71 | 0.61 | 0.82 | 0.82 | 2.39 | 0.50 | 0.77 | 0.40 | 0.35 | 0.93 | 0.64 | 0.43 | 0.43 | 1.58 | 0.71 | 0.55 | 0.74 |
| Abr-13 | 0.97 | 0.20 | 0.31 | 0.16 | 0.14 | 0.38 | 0.26 | 0.17 | 0.35 | 0.64 | 0.26 | 0.22 | 0.30 | 0.30 | 0.74 | 0.15 | 0.24 | 0.12 | 0.11 | 0.29 | 0.20 | 0.13 | 0.13 | 0.49 | 0.26 | 0.17 | 0.23 |
| May-13 | 0.48 | 0.10 | 0.16 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.09 | 0.17 | 0.32 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.15 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.24 | 0.13 | 0.08 | 0.11 |
| Jun-13 | 0.40 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.16 | 0.11 | 0.07 | 0.15 | 0.26 | 0.11 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.11 | 0.07 | 0.10 |
| Jul-13 | 0.37 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.07 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.30 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.12 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.10 | 0.07 | 0.09 |
| Ago-13 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.29 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.10 | 0.07 | 0.09 |
| Set-13 | 0.36 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.28 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.18 | 0.10 | 0.06 | 0.09 |
| Oct-13 | 0.44 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.07 | 0.17 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.29 | 0.12 | 0.10 | 0.14 | 0.14 | 0.32 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.12 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.21 | 0.12 | 0.07 | 0.10 |
| Nov-13 | 0.57 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.22 | 0.15 | 0.10 | 0.21 | 0.38 | 0.15 | 0.13 | 0.17 | 0.17 | 0.46 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.31 | 0.15 | 0.11 | 0.14 |
| Dic-13 | 0.89 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.32 | 0.59 | 0.24 | 0.20 | 0.27 | 0.27 | 0.84 | 0.18 | 0.27 | 0.14 | 0.12 | 0.33 | 0.22 | 0.15 | 0.15 | 0.55 | 0.24 | 0.19 | 0.26 |
| Ene-14 | 1.02 | 0.21 | 0.33 | 0.17 | 0.15 | 0.40 | 0.27 | 0.18 | 0.37 | 0.67 | 0.27 | 0.23 | 0.31 | 0.31 | 0.92 | 0.19 | 0.30 | 0.15 | 0.14 | 0.36 | 0.25 | 0.17 | 0.17 | 0.61 | 0.27 | 0.21 | 0.28 |
| Feb-14 | 0.90 | 0.19 | 0.29 | 0.15 | 0.13 | 0.35 | 0.24 | 0.16 | 0.33 | 0.60 | 0.24 | 0.21 | 0.28 | 0.28 | 0.68 | 0.14 | 0.22 | 0.11 | 0.10 | 0.27 | 0.18 | 0.12 | 0.12 | 0.45 | 0.24 | 0.16 | 0.21 |

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Tabla A5

| Caudal [m3/s] | | Modelo GR4J semidistribuido | | | | | | | | | | | | | Modelo SOCONT semidistribuido | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 |
| Fecha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sep-04 | 0.79 | 0.12 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.63 | 0.10 | 0.14 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Oct-04 | 1.84 | 0.25 | 0.35 | 0.12 | 0.09 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 1.52 | 0.24 | 0.35 | 0.15 | 0.11 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| Nov-04 | 3.64 | 0.59 | 0.85 | 0.33 | 0.24 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.12 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 2.94 | 0.52 | 0.77 | 0.35 | 0.28 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Dic-04 | 3.32 | 0.62 | 0.90 | 0.39 | 0.30 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.12 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 3.15 | 0.59 | 0.88 | 0.41 | 0.34 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| Ene-05 | 3.88 | 0.75 | 1.13 | 0.52 | 0.41 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 3.87 | 0.75 | 1.13 | 0.54 | 0.45 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| Feb-05 | 3.48 | 0.67 | 1.03 | 0.50 | 0.42 | 0.08 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.15 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 3.63 | 0.72 | 1.10 | 0.55 | 0.46 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | |
| Mar-05 | 4.19 | 0.84 | 1.26 | 0.65 | 0.55 | 0.13 | 0.07 | 0.02 | 0.04 | 0.25 | 0.11 | 0.08 | 0.04 | 3.77 | 0.75 | 1.14 | 0.58 | 0.50 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.16 | 0.16 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | |
| Abr-05 | 3.89 | 0.82 | 1.27 | 0.62 | 0.52 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | 0.06 | 0.11 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 3.80 | 0.78 | 1.21 | 0.60 | 0.51 | 0.17 | 0.13 | 0.14 | 0.25 | 0.31 | 0.13 | 0.10 | 0.13 | |
| May-05 | 1.50 | 0.29 | 0.44 | 0.21 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 2.18 | 0.43 | 0.66 | 0.32 | 0.27 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.15 | 0.22 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | |
| Jun-05 | 0.77 | 0.15 | 0.23 | 0.11 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.09 | 0.21 | 0.32 | 0.15 | 0.13 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.19 | 0.34 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | |
| Jul-05 | 0.50 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.56 | 0.10 | 0.15 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | |
| Ago-05 | 0.40 | 0.08 | 0.11 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.32 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | |
| Sep-05 | 0.40 | 0.06 | 0.09 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.41 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | |
| Oct-05 | 0.45 | 0.07 | 0.10 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.62 | 0.09 | 0.13 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Nov-05 | 0.61 | 0.10 | 0.15 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.82 | 0.14 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Dic-05 | 1.45 | 0.25 | 0.37 | 0.18 | 0.14 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.16 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 1.39 | 0.25 | 0.37 | 0.19 | 0.15 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | |
| Ene-06 | 3.87 | 0.67 | 0.96 | 0.47 | 0.39 | 0.09 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.16 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 3.26 | 0.62 | 0.94 | 0.48 | 0.42 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | |
| Feb-06 | 5.50 | 1.12 | 1.62 | 0.88 | 0.76 | 0.25 | 0.15 | 0.03 | 0.07 | 0.49 | 0.23 | 0.17 | 0.09 | 4.73 | 0.94 | 1.40 | 0.74 | 0.65 | 0.13 | 0.15 | 0.22 | 0.38 | 0.26 | 0.11 | 0.10 | 0.19 | |
| Mar-06 | 7.95 | 1.65 | 2.48 | 1.28 | 1.11 | 0.34 | 0.14 | 0.03 | 0.14 | 0.64 | 0.26 | 0.18 | 0.00 | 5.85 | 1.23 | 1.83 | 0.94 | 0.82 | 0.28 | 0.23 | 0.27 | 0.51 | 0.55 | 0.23 | 0.18 | 0.30 | |
| Abr-06 | 6.64 | 1.39 | 2.12 | 1.06 | 0.92 | 0.19 | 0.08 | 0.03 | 0.18 | 0.37 | 0.15 | 0.10 | 0.05 | 6.37 | 1.31 | 2.00 | 1.01 | 0.88 | 0.46 | 0.32 | 0.32 | 0.62 | 0.81 | 0.32 | 0.26 | 0.40 | |
| May-06 | 1.80 | 0.36 | 0.54 | 0.27 | 0.24 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 3.45 | 0.70 | 1.07 | 0.54 | 0.47 | 0.28 | 0.19 | 0.17 | 0.33 | 0.49 | 0.20 | 0.16 | 0.23 | |
| Jun-06 | 0.89 | 0.17 | 0.26 | 0.13 | 0.11 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 1.75 | 0.35 | 0.52 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.13 | 0.11 | 0.21 | 0.33 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | |
| Jul-06 | 0.60 | 0.11 | 0.17 | 0.08 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.94 | 0.18 | 0.26 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.08 | 0.07 | 0.14 | 0.23 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | |
| Ago-06 | 0.58 | 0.09 | 0.13 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.66 | 0.10 | 0.15 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.09 | 0.15 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | |
| Sep-06 | 0.81 | 0.10 | 0.14 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.84 | 0.12 | 0.16 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | |
| Oct-06 | 1.18 | 0.14 | 0.19 | 0.07 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.17 | 0.24 | 0.10 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | |
| Nov-06 | 2.02 | 0.26 | 0.35 | 0.11 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.05 | 0.34 | 0.49 | 0.21 | 0.16 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Dic-06 | 3.45 | 0.53 | 0.79 | 0.31 | 0.23 | 0.11 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.15 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 3.04 | 0.52 | 0.78 | 0.35 | 0.28 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | |
| Ene-07 | 5.77 | 1.12 | 1.66 | 0.79 | 0.64 | 0.15 | 0.06 | 0.01 | 0.02 | 0.31 | 0.13 | 0.09 | 0.03 | 5.09 | 0.98 | 1.50 | 0.74 | 0.62 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 0.12 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | |
| Feb-07 | 4.60 | 0.97 | 1.43 | 0.67 | 0.54 | 0.11 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.23 | 0.09 | 0.07 | 0.02 | 4.86 | 0.98 | 1.49 | 0.72 | 0.61 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | |
| Mar-07 | 7.33 | 1.53 | 2.26 | 1.17 | 1.03 | 0.23 | 0.17 | 0.04 | 0.10 | 0.59 | 0.23 | 0.17 | 0.00 | 5.86 | 1.20 | 1.83 | 0.92 | 0.80 | 0.25 | 0.21 | 0.25 | 0.46 | 0.42 | 0.17 | 0.14 | 0.25 | |
| Abr-07 | 5.57 | 1.21 | 1.86 | 0.99 | 0.87 | 0.23 | 0.09 | 0.04 | 0.17 | 0.34 | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 5.64 | 1.20 | 1.83 | 0.94 | 0.83 | 0.46 | 0.31 | 0.32 | 0.62 | 0.69 | 0.26 | 0.23 | 0.40 | |
| May-07 | 2.77 | 0.53 | 0.79 | 0.36 | 0.30 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 3.68 | 0.75 | 1.13 | 0.56 | 0.49 | 0.30 | 0.19 | 0.16 | 0.32 | 0.47 | 0.17 | 0.15 | 0.23 | |
| Jun-07 | 1.09 | 0.22 | 0.32 | 0.15 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.89 | 0.38 | 0.57 | 0.28 | 0.24 | 0.20 | 0.13 | 0.11 | 0.21 | 0.32 | 0.12 | 0.10 | 0.15 | |
| Jul-07 | 0.62 | 0.13 | 0.19 | 0.09 | 0.08 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.92 | 0.18 | 0.27 | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.08 | 0.07 | 0.14 | 0.22 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | |
| Ago-07 | 0.45 | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 0.06 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.51 | 0.09 | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.14 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | |
| Sep-07 | 0.56 | 0.08 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.58 | 0.09 | 0.13 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | |
| Oct-07 | 1.06 | 0.13 | 0.19 | 0.08 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.05 | 0.15 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Nov-07 | 1.69 | 0.23 | 0.34 | 0.12 | 0.09 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 1.79 | 0.29 | 0.43 | 0.18 | 0.14 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Dic-07 | 1.75 | 0.28 | 0.40 | 0.14 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 1.75 | 0.30 | 0.44 | 0.19 | 0.15 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Ene-08 | 4.99 | 0.89 | 1.23 | 0.51 | 0.39 | 0.16 | 0.07 | 0.01 | 0.02 | 0.29 | 0.11 | 0.09 | 0.04 | 3.56 | 0.66 | 0.98 | 0.45 | 0.37 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | |
| Feb-08 | 6.38 | 1.32 | 1.90 | 0.95 | 0.81 | 0.29 | 0.13 | 0.02 | 0.03 | 0.56 | 0.24 | 0.18 | 0.11 | 4.98 | 0.99 | 1.45 | 0.71 | 0.61 | 0.12 | 0.09 | 0.10 | 0.19 | 0.21 | 0.09 | 0.08 | 0.16 | |
| Mar-08 | 6.73 | 1.37 | 2.03 | 1.02 | 0.88 | 0.20 | 0.12 | 0.03 | 0.10 | 0.38 | 0.16 | 0.12 | 0.08 | 5.96 | 1.19 | 1.79 | 0.88 | 0.77 | 0.27 | 0.23 | 0.28 | 0.53 | 0.50 | 0.21 | 0.19 | 0.41 | |
| Abr-08 | 3.94 | 0.84 | 1.26 | 0.69 | 0.61 | 0.14 | 0.07 | 0.04 | 0.18 | 0.24 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 4.69 | 0.97 | 1.46 | 0.76 | 0.67 | 0.35 | 0.29 | 0.30 | 0.59 | 0.61 | 0.25 | 0.22 | 0.45 | |
| May-08 | 1.46 | 0.29 | 0.43 | 0.22 | 0.19 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 2.57 | 0.52 | 0.77 | 0.39 | 0.34 | 0.22 | 0.16 | 0.15 | 0.29 | 0.37 | 0.15 | 0.13 | 0.22 | |
| Jun-08 | 0.75 | 0.15 | 0.23 | 0.11 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 1.27 | 0.25 | 0.37 | 0.19 | 0.16 | 0.15 | 0.11 | 0.10 | 0.19 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.15 | |
| continúa en la siguiente página | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A5 – Continúa de la página anterior

| Fecha | Modelo GR4J semidistribuido | | | | | | | | | | | | | Modelo SOCONT semidistribuido | | | | | | | | | | | | | Caudal [m3/s] |
|--------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | |
| Nov-12 | 2.18 | 0.35 | 0.50 | 0.21 | 0.16 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 2.27 | 0.41 | 0.61 | 0.29 | 0.24 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| Dic-12 | 2.75 | 0.50 | 0.75 | 0.31 | 0.24 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 2.72 | 0.50 | 0.75 | 0.36 | 0.29 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| Ene-13 | 4.21 | 0.80 | 1.22 | 0.49 | 0.38 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 3.96 | 0.77 | 1.19 | 0.54 | 0.44 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | |
| Feb-13 | 5.43 | 1.08 | 1.57 | 0.75 | 0.61 | 0.22 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.42 | 0.17 | 0.10 | 0.03 | 4.53 | 0.89 | 1.35 | 0.64 | 0.54 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.15 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.06 | |
| Mar-13 | 8.64 | 1.83 | 2.76 | 1.38 | 1.19 | 0.33 | 0.17 | 0.05 | 0.15 | 0.69 | 0.30 | 0.19 | 0.08 | 6.71 | 1.39 | 2.12 | 1.04 | 0.88 | 0.32 | 0.29 | 0.35 | 0.65 | 0.69 | 0.29 | 0.20 | 0.27 | |
| Abr-13 | 3.36 | 0.65 | 0.97 | 0.49 | 0.42 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.11 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 4.66 | 0.95 | 1.44 | 0.71 | 0.62 | 0.26 | 0.19 | 0.18 | 0.35 | 0.47 | 0.19 | 0.14 | 0.17 | |
| May-13 | 1.70 | 0.33 | 0.49 | 0.24 | 0.20 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 2.72 | 0.54 | 0.82 | 0.40 | 0.34 | 0.18 | 0.12 | 0.11 | 0.21 | 0.32 | 0.13 | 0.09 | 0.11 | |
| Jun-13 | 1.33 | 0.23 | 0.33 | 0.15 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.79 | 0.33 | 0.49 | 0.24 | 0.20 | 0.14 | 0.09 | 0.08 | 0.15 | 0.25 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | |
| Jul-13 | 0.88 | 0.14 | 0.20 | 0.09 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.08 | 0.18 | 0.26 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | |
| Ago-13 | 0.66 | 0.11 | 0.16 | 0.07 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.65 | 0.10 | 0.14 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.11 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | |
| Set-13 | 0.60 | 0.09 | 0.14 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.62 | 0.10 | 0.14 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | |
| Oct-13 | 1.36 | 0.21 | 0.32 | 0.12 | 0.09 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.29 | 0.22 | 0.33 | 0.14 | 0.11 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | |
| Nov-13 | 1.78 | 0.29 | 0.43 | 0.16 | 0.11 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 1.99 | 0.36 | 0.54 | 0.23 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | |
| Dic-13 | 3.14 | 0.60 | 0.89 | 0.35 | 0.26 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.16 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 2.95 | 0.57 | 0.87 | 0.39 | 0.32 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | |
| Ene-14 | 4.06 | 0.80 | 1.23 | 0.57 | 0.45 | 0.12 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.19 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 3.60 | 0.71 | 1.10 | 0.52 | 0.42 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | |
| Feb-14 | 5.06 | 1.00 | 1.53 | 0.71 | 0.57 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 4.42 | 0.88 | 1.39 | 0.66 | 0.55 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | |

Tabla A6
Descargas generadas por subcuenca modelos semidistribuido HBV y SAC-SMA

| Caudal [m3/s] | | | Modelo SAC-SMA semidistribuido | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | Modelo HBV semidistribuido | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 |
| Set-04 | 1.41 | 0.24 | 0.36 | 0.16 | 0.12 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 1.28 | 0.20 | 0.29 | 0.13 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.03 | 0.02 | 0.01 |
| Oct-04 | 2.78 | 0.43 | 0.61 | 0.24 | 0.18 | 0.12 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 2.28 | 0.38 | 0.55 | 0.23 | 0.18 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.00 |
| Nov-04 | 3.82 | 0.70 | 1.03 | 0.47 | 0.38 | 0.31 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.53 | 0.17 | 0.10 | 0.01 | 2.94 | 0.53 | 0.79 | 0.37 | 0.30 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| Dic-04 | 3.73 | 0.70 | 1.02 | 0.46 | 0.37 | 0.31 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.52 | 0.18 | 0.12 | 0.01 | 3.32 | 0.63 | 0.94 | 0.43 | 0.35 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.03 | 0.02 | 0.00 |
| Ene-05 | 3.63 | 0.72 | 1.09 | 0.52 | 0.43 | 0.35 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.58 | 0.20 | 0.14 | 0.01 | 3.35 | 0.67 | 1.03 | 0.49 | 0.40 | 0.11 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.06 | 0.04 | 0.00 |
| Feb-05 | 3.38 | 0.64 | 0.97 | 0.49 | 0.41 | 0.30 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.49 | 0.17 | 0.12 | 0.01 | 3.38 | 0.64 | 0.99 | 0.50 | 0.42 | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.07 | 0.05 | 0.00 |
| Mar-05 | 3.89 | 0.78 | 1.17 | 0.60 | 0.50 | 0.32 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.52 | 0.18 | 0.12 | 0.01 | 4.05 | 0.81 | 1.23 | 0.63 | 0.53 | 0.18 | 0.07 | 0.01 | 0.01 | 0.31 | 0.12 | 0.08 | 0.02 |
| Abr-05 | 3.10 | 0.64 | 1.00 | 0.48 | 0.40 | 0.33 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.56 | 0.21 | 0.14 | 0.01 | 3.04 | 0.64 | 0.99 | 0.47 | 0.39 | 0.20 | 0.08 | 0.01 | 0.02 | 0.37 | 0.14 | 0.10 | 0.03 |
| May-05 | 1.38 | 0.26 | 0.39 | 0.18 | 0.15 | 0.10 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 0.94 | 0.16 | 0.23 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.15 | 0.06 | 0.04 | 0.01 |
| Jun-05 | 0.81 | 0.15 | 0.23 | 0.11 | 0.09 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.58 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.11 | 0.04 | 0.03 | 0.01 |
| Jul-05 | 0.60 | 0.11 | 0.17 | 0.08 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.01 |
| Ago-05 | 0.52 | 0.09 | 0.14 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.55 | 0.10 | 0.15 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.01 |
| Set-05 | 0.66 | 0.10 | 0.14 | 0.06 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.09 | 0.14 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| Oct-05 | 0.86 | 0.14 | 0.21 | 0.09 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.77 | 0.13 | 0.21 | 0.09 | 0.08 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.00 |
| Nov-05 | 0.96 | 0.17 | 0.25 | 0.11 | 0.09 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.93 | 0.18 | 0.28 | 0.12 | 0.10 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Dic-05 | 1.80 | 0.31 | 0.47 | 0.23 | 0.19 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 2.28 | 0.44 | 0.68 | 0.35 | 0.30 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Ene-06 | 3.61 | 0.65 | 0.95 | 0.48 | 0.40 | 0.21 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.11 | 0.08 | 0.01 | 3.81 | 0.71 | 1.06 | 0.54 | 0.46 | 0.09 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.04 | 0.02 | 0.00 |
| Feb-06 | 4.66 | 0.96 | 1.39 | 0.75 | 0.66 | 0.37 | 0.13 | 0.00 | 0.01 | 0.64 | 0.24 | 0.16 | 0.01 | 4.70 | 0.97 | 1.43 | 0.76 | 0.67 | 0.36 | 0.11 | 0.01 | 0.02 | 0.67 | 0.23 | 0.16 | 0.04 |
| Mar-06 | 7.26 | 1.49 | 2.24 | 1.15 | 0.99 | 0.51 | 0.17 | 0.01 | 0.01 | 0.90 | 0.35 | 0.23 | 0.02 | 7.22 | 1.48 | 2.24 | 1.15 | 0.99 | 0.59 | 0.22 | 0.02 | 0.03 | 1.10 | 0.43 | 0.28 | 0.08 |
| Abr-06 | 5.50 | 1.14 | 1.75 | 0.87 | 0.75 | 0.63 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 1.09 | 0.42 | 0.28 | 0.03 | 5.47 | 1.13 | 1.73 | 0.87 | 0.74 | 0.65 | 0.24 | 0.03 | 0.03 | 1.17 | 0.45 | 0.31 | 0.09 |
| May-06 | 1.55 | 0.31 | 0.46 | 0.23 | 0.20 | 0.14 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.38 | 0.14 | 0.10 | 0.01 | 1.05 | 0.20 | 0.30 | 0.15 | 0.13 | 0.20 | 0.08 | 0.01 | 0.01 | 0.35 | 0.14 | 0.10 | 0.03 |
| Jun-06 | 1.01 | 0.19 | 0.27 | 0.13 | 0.11 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.81 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.02 |
| Jul-06 | 0.75 | 0.14 | 0.20 | 0.10 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.61 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.15 | 0.06 | 0.04 | 0.02 |
| Ago-06 | 0.83 | 0.13 | 0.18 | 0.08 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.13 | 0.18 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.14 | 0.06 | 0.04 | 0.01 |
| Set-06 | 1.16 | 0.18 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 1.19 | 0.19 | 0.25 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.05 | 0.04 | 0.01 |
| Oct-06 | 1.57 | 0.24 | 0.34 | 0.14 | 0.11 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 1.57 | 0.25 | 0.37 | 0.16 | 0.13 | 0.07 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| Nov-06 | 2.73 | 0.42 | 0.61 | 0.25 | 0.20 | 0.14 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | 0.07 | 0.05 | 0.00 | 2.27 | 0.37 | 0.55 | 0.22 | 0.17 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.04 | 0.03 | 0.00 |
| Dic-06 | 4.24 | 0.75 | 1.12 | 0.52 | 0.41 | 0.20 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.09 | 0.07 | 0.01 | 3.79 | 0.68 | 1.06 | 0.51 | 0.42 | 0.12 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.04 | 0.03 | 0.00 |
| Ene-07 | 5.55 | 1.09 | 1.64 | 0.79 | 0.66 | 0.45 | 0.13 | 0.00 | 0.01 | 0.75 | 0.25 | 0.17 | 0.01 | 4.91 | 0.96 | 1.46 | 0.71 | 0.59 | 0.41 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.69 | 0.22 | 0.14 | 0.01 |
| Feb-07 | 4.28 | 0.87 | 1.32 | 0.62 | 0.52 | 0.37 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.65 | 0.24 | 0.17 | 0.01 | 4.28 | 0.87 | 1.32 | 0.63 | 0.52 | 0.35 | 0.10 | 0.00 | 0.01 | 0.63 | 0.24 | 0.17 | 0.02 |
| Mar-07 | 6.78 | 1.40 | 2.08 | 1.08 | 0.94 | 0.55 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 0.95 | 0.36 | 0.24 | 0.02 | 6.95 | 1.43 | 2.15 | 1.11 | 0.97 | 0.77 | 0.29 | 0.03 | 0.04 | 1.34 | 0.51 | 0.36 | 0.10 |
| Abr-07 | 4.91 | 1.05 | 1.61 | 0.84 | 0.73 | 0.67 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 1.11 | 0.40 | 0.28 | 0.03 | 4.78 | 1.02 | 1.57 | 0.82 | 0.71 | 0.80 | 0.29 | 0.03 | 0.06 | 1.34 | 0.49 | 0.37 | 0.12 |
| May-07 | 2.53 | 0.48 | 0.72 | 0.33 | 0.27 | 0.28 | 0.08 | 0.00 | 0.01 | 0.45 | 0.15 | 0.11 | 0.01 | 2.18 | 0.41 | 0.61 | 0.27 | 0.22 | 0.30 | 0.10 | 0.01 | 0.02 | 0.49 | 0.17 | 0.13 | 0.04 |
| Jun-07 | 1.16 | 0.23 | 0.34 | 0.16 | 0.14 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.68 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.09 | 0.13 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.22 | 0.08 | 0.06 | 0.02 |
| Jul-07 | 0.78 | 0.15 | 0.23 | 0.11 | 0.09 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.58 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.07 | 0.05 | 0.02 |
| Ago-07 | 0.66 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.57 | 0.11 | 0.17 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.02 |
| Set-07 | 0.96 | 0.16 | 0.23 | 0.11 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 1.02 | 0.15 | 0.22 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.16 | 0.06 | 0.05 | 0.02 |
| Oct-07 | 1.72 | 0.25 | 0.35 | 0.14 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 1.72 | 0.27 | 0.40 | 0.17 | 0.13 | 0.09 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.06 | 0.04 | 0.01 |
| Nov-07 | 2.10 | 0.35 | 0.52 | 0.22 | 0.17 | 0.12 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 1.82 | 0.32 | 0.48 | 0.21 | 0.17 | 0.08 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| Dic-07 | 1.82 | 0.31 | 0.46 | 0.19 | 0.15 | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 1.85 | 0.34 | 0.50 | 0.22 | 0.17 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.00 |
| Ene-08 | 4.76 | 0.88 | 1.26 | 0.57 | 0.46 | 0.25 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.44 | 0.15 | 0.11 | 0.01 | 4.83 | 0.90 | 1.32 | 0.62 | 0.52 | 0.18 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.10 | 0.07 | 0.01 |
| Feb-08 | 5.53 | 1.13 | 1.66 | 0.83 | 0.72 | 0.43 | 0.14 | 0.00 | 0.01 | 0.73 | 0.27 | 0.20 | 0.02 | 5.71 | 1.17 | 1.73 | 0.86 | 0.75 | 0.54 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 0.94 | 0.35 | 0.26 | 0.06 |
| Mar-08 | 5.76 | 1.17 | 1.71 | 0.85 | 0.73 | 0.59 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 1.03 | 0.40 | 0.28 | 0.04 | 5.87 | 1.19 | 1.76 | 0.88 | 0.76 | 0.78 | 0.31 | 0.03 | 0.05 | 1.39 | 0.56 | 0.41 | 0.14 |
| Abr-08 | 3.33 | 0.70 | 1.05 | 0.56 | 0.49 | 0.56 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 0.93 | 0.37 | 0.26 | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A6 – Continúa de la página anterior

| Fecha | Modelo HBV semidistribuido | | | | | | | | | | | | | | Modelo SAC-SMA semidistribuido | | | | | | | | | | | | | | Caudal [m3/s] |
|--------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|------------------|
| | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | | | |
| Jul-08 | 0.69 | 0.13 | 0.19 | 0.09 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.12 | 0.17 | 0.09 | 0.07 | 0.11 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.02 | | | |
| Ago-08 | 0.74 | 0.13 | 0.20 | 0.09 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.76 | 0.14 | 0.21 | 0.10 | 0.08 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Set-08 | 0.71 | 0.13 | 0.18 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.66 | 0.12 | 0.17 | 0.08 | 0.06 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Oct-08 | 1.54 | 0.26 | 0.39 | 0.16 | 0.12 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 1.86 | 0.29 | 0.45 | 0.19 | 0.14 | 0.09 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.16 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Nov-08 | 2.14 | 0.41 | 0.62 | 0.28 | 0.22 | 0.18 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.08 | 0.05 | 0.01 | 1.62 | 0.31 | 0.48 | 0.22 | 0.18 | 0.12 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | | | |
| Dic-08 | 2.69 | 0.53 | 0.81 | 0.35 | 0.28 | 0.21 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.10 | 0.07 | 0.01 | 2.67 | 0.55 | 0.85 | 0.37 | 0.30 | 0.12 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | | | |
| Ene-09 | 4.48 | 0.90 | 1.32 | 0.64 | 0.54 | 0.35 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.60 | 0.21 | 0.15 | 0.02 | 4.52 | 0.91 | 1.36 | 0.67 | 0.57 | 0.36 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.63 | 0.21 | 0.14 | 0.01 | | | |
| Feb-09 | 8.01 | 1.70 | 2.57 | 1.33 | 1.17 | 0.71 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 1.19 | 0.46 | 0.32 | 0.04 | 7.89 | 1.66 | 2.51 | 1.29 | 1.12 | 0.98 | 0.35 | 0.03 | 0.04 | 1.68 | 0.66 | 0.47 | 0.14 | | | |
| Mar-09 | 7.12 | 1.50 | 2.25 | 1.15 | 1.01 | 0.89 | 0.31 | 0.01 | 0.02 | 1.56 | 0.65 | 0.44 | 0.06 | 7.08 | 1.49 | 2.23 | 1.15 | 1.00 | 1.10 | 0.45 | 0.09 | 0.15 | 2.03 | 0.84 | 0.60 | 0.26 | | | |
| Abr-09 | 5.21 | 1.04 | 1.54 | 0.76 | 0.65 | 0.75 | 0.26 | 0.01 | 0.02 | 1.32 | 0.55 | 0.38 | 0.06 | 5.11 | 1.02 | 1.51 | 0.74 | 0.63 | 0.82 | 0.33 | 0.08 | 0.13 | 1.48 | 0.60 | 0.45 | 0.22 | | | |
| May-09 | 2.23 | 0.41 | 0.60 | 0.28 | 0.23 | 0.27 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.48 | 0.18 | 0.13 | 0.02 | 1.94 | 0.33 | 0.48 | 0.21 | 0.17 | 0.28 | 0.11 | 0.03 | 0.04 | 0.49 | 0.18 | 0.14 | 0.07 | | | |
| Jun-09 | 1.31 | 0.24 | 0.36 | 0.17 | 0.14 | 0.08 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 0.78 | 0.15 | 0.23 | 0.12 | 0.10 | 0.15 | 0.07 | 0.02 | 0.03 | 0.26 | 0.10 | 0.08 | 0.04 | | | |
| Jul-09 | 0.90 | 0.17 | 0.25 | 0.12 | 0.10 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.68 | 0.13 | 0.19 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.21 | 0.08 | 0.07 | 0.04 | | | |
| Ago-09 | 0.92 | 0.16 | 0.23 | 0.10 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.89 | 0.15 | 0.22 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.20 | 0.08 | 0.06 | 0.03 | | | |
| Set-09 | 1.19 | 0.20 | 0.30 | 0.13 | 0.11 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 1.16 | 0.20 | 0.30 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.19 | 0.08 | 0.06 | 0.03 | | | |
| Oct-09 | 2.89 | 0.50 | 0.73 | 0.33 | 0.26 | 0.16 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.09 | 0.06 | 0.01 | 2.56 | 0.47 | 0.70 | 0.33 | 0.27 | 0.17 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.30 | 0.10 | 0.07 | 0.03 | | | |
| Nov-09 | 4.91 | 0.88 | 1.28 | 0.55 | 0.44 | 0.34 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.63 | 0.24 | 0.16 | 0.02 | 4.22 | 0.77 | 1.13 | 0.49 | 0.39 | 0.26 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.49 | 0.17 | 0.12 | 0.02 | | | |
| Dic-09 | 5.50 | 0.92 | 1.34 | 0.59 | 0.47 | 0.40 | 0.10 | 0.00 | 0.01 | 0.73 | 0.26 | 0.18 | 0.02 | 4.70 | 0.77 | 1.13 | 0.51 | 0.40 | 0.27 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.51 | 0.17 | 0.11 | 0.02 | | | |
| Ene-10 | 5.35 | 0.98 | 1.49 | 0.67 | 0.54 | 0.41 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.72 | 0.25 | 0.16 | 0.02 | 4.99 | 0.91 | 1.40 | 0.62 | 0.49 | 0.33 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.57 | 0.18 | 0.10 | 0.01 | | | |
| Feb-10 | 4.39 | 0.81 | 1.17 | 0.55 | 0.46 | 0.35 | 0.10 | 0.00 | 0.01 | 0.58 | 0.19 | 0.13 | 0.02 | 4.29 | 0.80 | 1.17 | 0.56 | 0.47 | 0.35 | 0.10 | 0.00 | 0.01 | 0.55 | 0.16 | 0.12 | 0.02 | | | |
| Mar-10 | 6.10 | 1.20 | 1.84 | 0.90 | 0.76 | 0.47 | 0.14 | 0.00 | 0.01 | 0.78 | 0.27 | 0.18 | 0.02 | 6.17 | 1.23 | 1.88 | 0.93 | 0.78 | 0.66 | 0.22 | 0.02 | 0.02 | 1.13 | 0.42 | 0.28 | 0.06 | | | |
| Abr-10 | 4.14 | 0.75 | 1.09 | 0.48 | 0.39 | 0.38 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 0.66 | 0.24 | 0.16 | 0.02 | 4.13 | 0.74 | 1.08 | 0.47 | 0.37 | 0.50 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | 0.90 | 0.35 | 0.24 | 0.07 | | | |
| May-10 | 2.02 | 0.36 | 0.54 | 0.26 | 0.21 | 0.15 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.09 | 0.06 | 0.01 | 1.45 | 0.26 | 0.39 | 0.19 | 0.16 | 0.22 | 0.09 | 0.01 | 0.02 | 0.39 | 0.15 | 0.11 | 0.04 | | | |
| Jun-10 | 1.06 | 0.19 | 0.29 | 0.14 | 0.12 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.67 | 0.13 | 0.20 | 0.10 | 0.08 | 0.12 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.21 | 0.08 | 0.06 | 0.03 | | | |
| Jul-10 | 0.79 | 0.14 | 0.22 | 0.10 | 0.09 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.07 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.19 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | | | |
| Ago-10 | 0.59 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Set-10 | 0.94 | 0.16 | 0.24 | 0.10 | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.99 | 0.17 | 0.25 | 0.12 | 0.09 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Oct-10 | 1.72 | 0.29 | 0.44 | 0.17 | 0.13 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 1.77 | 0.32 | 0.48 | 0.17 | 0.13 | 0.10 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.17 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Nov-10 | 2.43 | 0.43 | 0.65 | 0.24 | 0.18 | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.05 | 0.03 | 0.00 | 2.13 | 0.40 | 0.61 | 0.25 | 0.19 | 0.10 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | | | |
| Dic-10 | 4.54 | 0.83 | 1.22 | 0.52 | 0.40 | 0.24 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.12 | 0.09 | 0.01 | 4.16 | 0.78 | 1.16 | 0.52 | 0.41 | 0.20 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.07 | 0.06 | 0.01 | | | |
| Ene-11 | 5.56 | 1.05 | 1.57 | 0.74 | 0.60 | 0.36 | 0.10 | 0.00 | 0.01 | 0.60 | 0.20 | 0.14 | 0.02 | 5.43 | 1.02 | 1.53 | 0.73 | 0.59 | 0.42 | 0.12 | 0.00 | 0.01 | 0.68 | 0.22 | 0.16 | 0.02 | | | |
| Feb-11 | 6.30 | 1.18 | 1.75 | 0.85 | 0.71 | 0.50 | 0.15 | 0.00 | 0.01 | 0.80 | 0.26 | 0.19 | 0.03 | 6.19 | 1.15 | 1.72 | 0.83 | 0.69 | 0.65 | 0.23 | 0.02 | 0.02 | 1.00 | 0.35 | 0.28 | 0.09 | | | |
| Mar-11 | 6.09 | 1.16 | 1.76 | 0.83 | 0.69 | 0.46 | 0.13 | 0.00 | 0.01 | 0.74 | 0.23 | 0.17 | 0.02 | 6.14 | 1.18 | 1.78 | 0.85 | 0.70 | 0.62 | 0.21 | 0.02 | 0.03 | 0.98 | 0.34 | 0.27 | 0.09 | | | |
| Abr-11 | 5.30 | 1.08 | 1.65 | 0.82 | 0.69 | 0.53 | 0.15 | 0.00 | 0.01 | 0.87 | 0.29 | 0.21 | 0.03 | 5.25 | 1.07 | 1.64 | 0.82 | 0.70 | 0.73 | 0.25 | 0.03 | 0.04 | 1.23 | 0.46 | 0.35 | 0.13 | | | |
| May-11 | 2.04 | 0.39 | 0.59 | 0.28 | 0.23 | 0.23 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.14 | 0.10 | 0.01 | 1.54 | 0.29 | 0.42 | 0.19 | 0.16 | 0.28 | 0.11 | 0.02 | 0.03 | 0.50 | 0.20 | 0.15 | 0.06 | | | |
| Jun-11 | 1.11 | 0.21 | 0.31 | 0.15 | 0.12 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.71 | 0.14 | 0.21 | 0.10 | 0.09 | 0.13 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.22 | 0.09 | 0.07 | 0.03 | | | |
| Jul-11 | 0.99 | 0.18 | 0.26 | 0.12 | 0.10 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.84 | 0.15 | 0.22 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.19 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | | | |
| Ago-11 | 0.75 | 0.13 | 0.19 | 0.09 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.62 | 0.11 | 0.17 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | | | |
| Set-11 | 1.17 | 0.18 | 0.25 | 0.11 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 1.37 | 0.20 | 0.28 | 0.13 | 0.10 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Oct-11 | 1.51 | 0.23 | 0.32 | 0.13 | 0.10 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 1.23 | 0.20 | 0.28 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.17 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Nov-11 | 2.84 | 0.47 | 0.70 | 0.30 | 0.23 | 0.13 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 2.54 | 0.45 | 0.69 | 0.31 | 0.25 | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | | | |
| Dic-11 | 4.59 | 0.92 | 1.41 | 0.65 | 0.52 | 0.34 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.55 | 0.18 | 0.12 | 0.01 | 4.17 | 0.83 | 1.30 | 0.60 | 0.49 | 0.28 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.47 | 0.12 | 0.08 | 0.01 | | | |
| Ene-12 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A6 – Continúa de la página anterior

| | | Modelo HBV semistribuido | | | | | | | | | | | | | | Modelo SAC-SMA semistribuido | | | | | | | | | | | | | | Caudal [m3/s] |
|--------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|------------------|
| | | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | | | |
| Fecha | | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | | | |
| Nov-12 | 2.94 | 0.52 | 0.76 | 0.36 | 0.29 | 0.24 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.42 | 0.15 | 0.10 | 0.01 | 2.23 | 0.40 | 0.58 | 0.28 | 0.22 | 0.18 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.32 | 0.10 | 0.08 | 0.02 | | | |
| Dic-12 | 3.46 | 0.65 | 0.98 | 0.45 | 0.36 | 0.24 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.12 | 0.09 | 0.01 | 3.16 | 0.62 | 0.96 | 0.45 | 0.36 | 0.15 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.07 | 0.05 | 0.01 | | | |
| Ene-13 | 4.02 | 0.76 | 1.17 | 0.50 | 0.40 | 0.33 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.50 | 0.14 | 0.10 | 0.01 | 3.71 | 0.70 | 1.10 | 0.46 | 0.36 | 0.25 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.36 | 0.08 | 0.06 | 0.01 | | | |
| Feb-13 | 5.17 | 1.04 | 1.54 | 0.75 | 0.63 | 0.36 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.56 | 0.18 | 0.12 | 0.01 | 5.23 | 1.06 | 1.58 | 0.78 | 0.66 | 0.44 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 0.70 | 0.24 | 0.15 | 0.01 | | | |
| Mar-13 | 7.66 | 1.60 | 2.44 | 1.20 | 1.03 | 0.68 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.15 | 0.45 | 0.27 | 0.02 | 7.55 | 1.58 | 2.41 | 1.19 | 1.01 | 1.00 | 0.40 | 0.06 | 0.08 | 1.79 | 0.73 | 0.48 | 0.08 | | | |
| Abr-13 | 2.71 | 0.52 | 0.79 | 0.39 | 0.34 | 0.41 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.70 | 0.26 | 0.16 | 0.01 | 2.42 | 0.46 | 0.68 | 0.34 | 0.29 | 0.47 | 0.18 | 0.04 | 0.05 | 0.82 | 0.31 | 0.21 | 0.05 | | | |
| May-13 | 1.73 | 0.34 | 0.51 | 0.25 | 0.21 | 0.15 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.08 | 0.05 | 0.00 | 1.61 | 0.32 | 0.48 | 0.23 | 0.20 | 0.22 | 0.08 | 0.01 | 0.02 | 0.37 | 0.13 | 0.10 | 0.03 | | | |
| Jun-13 | 1.46 | 0.25 | 0.37 | 0.18 | 0.15 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.04 | 0.02 | 0.00 | 1.16 | 0.19 | 0.26 | 0.12 | 0.10 | 0.16 | 0.06 | 0.01 | 0.02 | 0.26 | 0.09 | 0.07 | 0.02 | | | |
| Jul-13 | 1.04 | 0.17 | 0.24 | 0.11 | 0.09 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.84 | 0.14 | 0.20 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.19 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | | | |
| Ago-13 | 0.78 | 0.13 | 0.19 | 0.09 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 0.13 | 0.20 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Set-13 | 0.89 | 0.15 | 0.22 | 0.09 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.76 | 0.13 | 0.19 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | | | |
| Oct-13 | 2.12 | 0.36 | 0.55 | 0.21 | 0.16 | 0.09 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 2.11 | 0.38 | 0.60 | 0.25 | 0.19 | 0.11 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.18 | 0.06 | 0.05 | 0.01 | | | |
| Nov-13 | 2.19 | 0.40 | 0.59 | 0.26 | 0.21 | 0.17 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.08 | 0.05 | 0.00 | 1.67 | 0.31 | 0.46 | 0.20 | 0.16 | 0.14 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | | | |
| Dic-13 | 3.54 | 0.69 | 1.03 | 0.45 | 0.36 | 0.25 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.42 | 0.14 | 0.09 | 0.00 | 3.17 | 0.62 | 0.95 | 0.41 | 0.33 | 0.18 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.32 | 0.10 | 0.06 | 0.01 | | | |
| Ene-14 | 4.12 | 0.81 | 1.26 | 0.59 | 0.48 | 0.26 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.14 | 0.08 | 0.00 | 4.03 | 0.81 | 1.29 | 0.62 | 0.51 | 0.23 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.11 | 0.06 | 0.00 | | | |
| Feb-14 | 4.41 | 0.87 | 1.37 | 0.64 | 0.52 | 0.30 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.47 | 0.14 | 0.08 | 0.00 | 4.42 | 0.87 | 1.37 | 0.64 | 0.52 | 0.33 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.50 | 0.13 | 0.08 | 0.01 | | | |

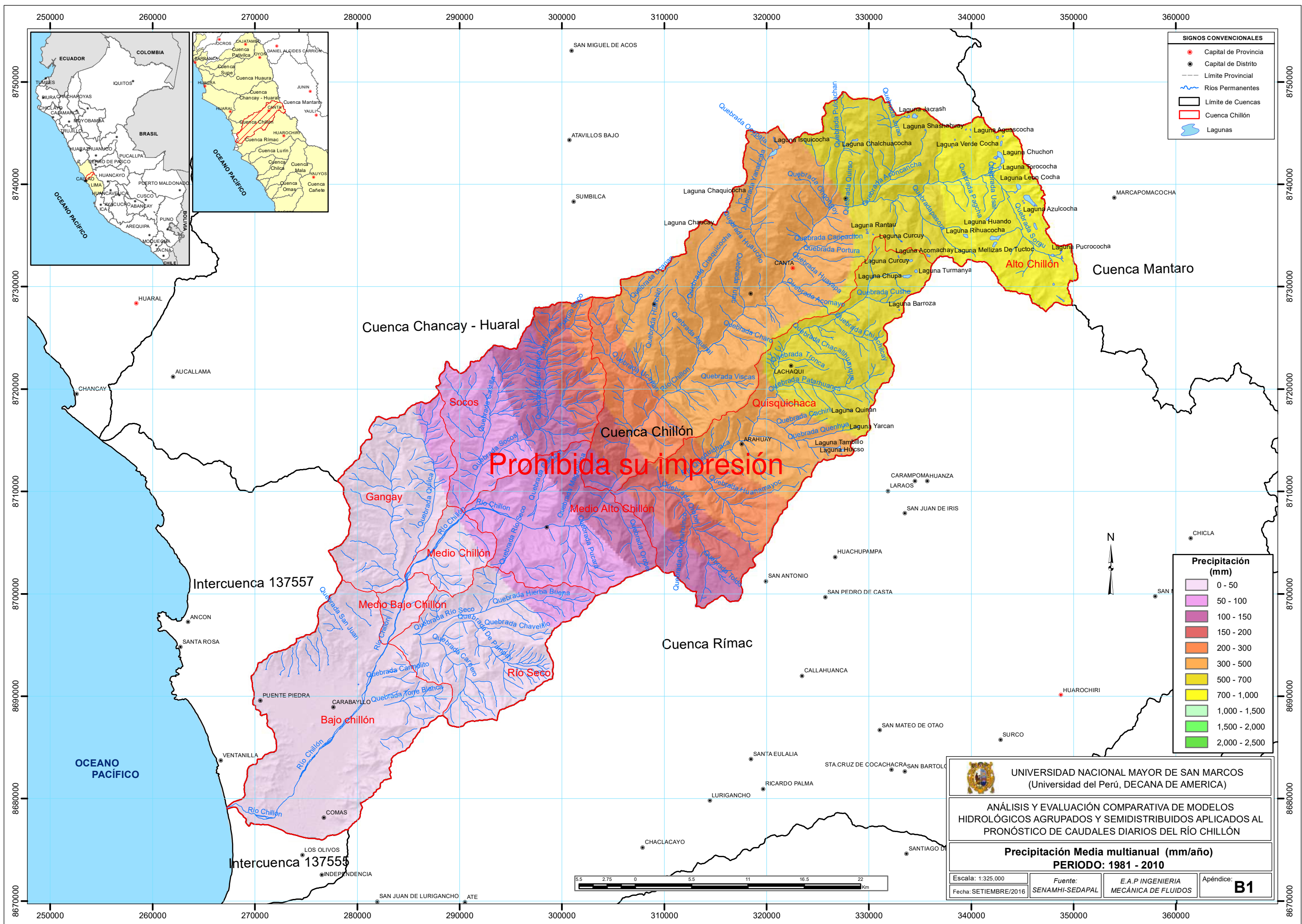
Fuente: Elaboración propia

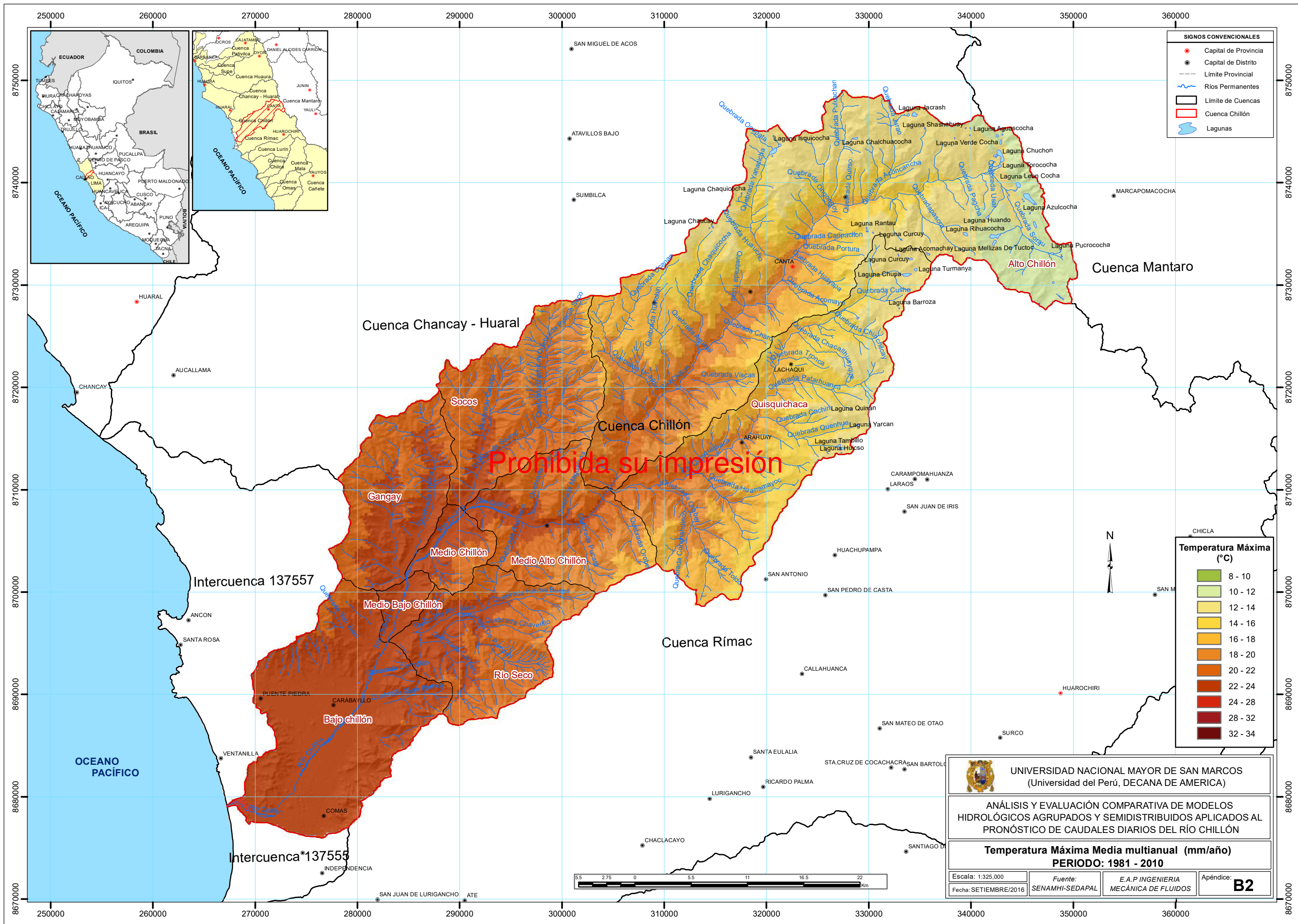
Fuente: Elaboración propia

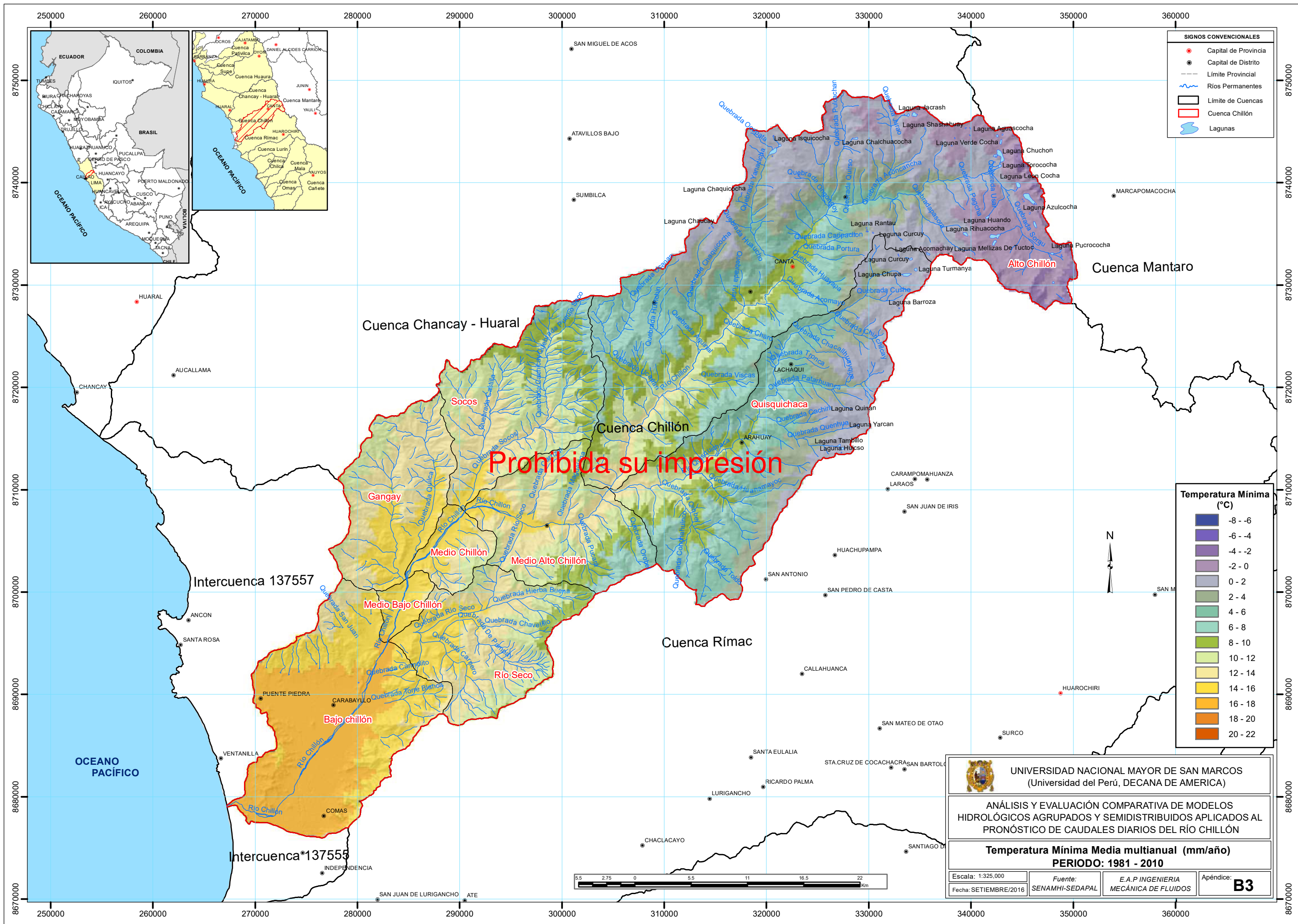
Apendice B

Mapas climáticos multianuales en la cuenca del río Chillón

Se presenta mapas de precipitación media multianual ([Apéndice B1](#)), así como mapas de temperatura mínima y máxima multianual ([Apéndice B2 y B3](#)). Finalmente, se presenta un mapa representativo de la evapotranspiración multianual en la cuenca de estudio ([Apéndice B4](#)). Cabe resaltar, que se consideró un periodo de cerca de 30 años de información (1981-2010) para la elaboración de los mapas climáticos, por lo que puede decirse que la variabilidad climática de la cuenca está representada.







SIGNOS CONVENCIONALES

- Capital de Provincia
- Capital de Distrito
- Límite Provincial
- Ríos Permanentes
- Límite de Cuenas
- Cuenca Chillón
- Lagunas

Temperatura Mínima (°C)

| |
|---------|
| -8 - -6 |
| -6 - -4 |
| -4 - -2 |
| -2 - 0 |
| 0 - 2 |
| 2 - 4 |
| 4 - 6 |
| 6 - 8 |
| 8 - 10 |
| 10 - 12 |
| 12 - 14 |
| 14 - 16 |
| 16 - 18 |
| 18 - 20 |
| 20 - 22 |



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA)

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MODELOS
HIDROLÓGICOS AGRUPADOS Y SEMIDISTRIBUIDOS APLICADOS AL
PRONÓSTICO DE CAUDALES DIARIOS DEL RÍO CHILLÓN

Temperatura Mínima Media multianual (mm/año)
PERIODO: 1981 - 2010

| | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Escala: 1:325,000 | Fuente: SENAMHI-SEDAPAL | E.A.P. INGENIERIA MECÁNICA DE FLUIDOS | Apéndice: B3 |
| Fecha: SETIEMBRE/2016 | | | |

